СПРАВОЧНИК МЕТАЛЛИСТА

ТОМ (5)

Под редакцией
канд. техн. наук Б. Л. БОГУСЛАВСКОГО

МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1978

ББК 34.5
С74
УДК 621 : 65.011.56 (031)

Авторы: В. П. Бобров, Б. Л. Богуславский, Д. Е. Гиндин, Р. Е. Говсиевич, Б. И. Горенштейн, Л. Н. Грачев, В. И. Дементьев, В. К. Замятин, Ю. В. Иванов, Ю. Г. Козырев, А. Н. Малов, Н. Н. Марков, А. А. Моисеев, М. П. Новиков, Г. А. Островский, Н. М. Султан-Заде, Б. И. Черпаков

Рецензенты: М. И. Босов, В. А. Горбатов, В. В. Коснилов, Г. С. Капелюш, А. И. Корендясев, Л. Л. Макаров, Е. И. Педь, С. С. Сергеев, Н. С. Чикирев

Справочник металлиста: В 5-ти т. Т. 5./ Под
С74 ред. Б. Л. Богуславского. — М.: Машиностроение, 1978. — 673 с., ил.

В пер.: 2 р. 60 к.

В пятом томе приведены справочные сведения об оптимизации технологических процессов механической обработки с применением ЭВМ, о средствах автоматизации, системах управления технологическим оборудованием, механизации и автоматизации транспорта, о станках с программным управлением, об автоматических линиях, автоматизации сборки, экономической эффективности автоматизации.

Материал пятого тома публикуется впервые.

Справочник предназначен для техников и инженеров-технологов машиностроительных заводов.

С 31301-604 / 038(01)-78 подписное

ББК 34.5
6П4

© Издательство «Машиностроение», 1978 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Глава 1. **Технологические процессы в машиностроении** (*Б. Л. Богуславский*) 8

Основные сведения 8
Предварительное проектирование 14
Выбор технологического процесса 15
Список литературы. 22

Глава 2. **Расчет эффективности автоматизации** (*Р. Е. Говсиевич, Б. И. Горенштейн*) 23

Общие положения 23
Расчет эффективности станков с ЧПУ 24
Расчет эффективности специальных и специализированных металлорежущих станков 36
Список литературы. 45

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Глава 3. **Использование вычислительной техники для оптимизации технологических процессов механической обработки** (*Н. М. Султан-Заде*) 46

Автоматизированные системы управления 46
Исследование операций и оптимизация технологических процессов 51
Линейное программирование 53
Модели управления запасами 57
Составление расписания работы технологической линии . 61
Список литературы 66

Глава 4. **Расчет выходных параметров технологических процессов и автоматического оборудования на ЭВМ** (*Н. М. Султан-Заде*) 68

Определение проектной производительности автоматических линий методом статистических испытаний 69
Определение оценки коэффициента готовности многоучастковых автоматических линий 79
Производительность многопоточной и многоучастковой автоматической линии (ММАЛ) без накопителей 83
Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства 110
Список литературы. 137

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Глава 5. **Средства автоматизации** (*В. И. Дементьев*) . 138

Датчики элементарных механизмов 139
Промежуточные устройства 160
Усилители 163
Вспомогательные устройства 166
Список литературы 165

Глава 6. *Системы автоматического управления (Ю. В. Иванов)* 167

Системы путевого управления 171
Системы управления от кулачков 172

Системы управления от копиров 174
Системы циклового программного управления 180
Системы числового программного управления 184
Список литературы 199

Глава 7. Основные функции систем автоматического управления (*В. И. Дементьев*) 200

Включение и выключение 200
Торможение и синхронизация 204
Регулирование частоты вращения 206
Автоматическое деление 211
Список литературы 213

Глава 8. Автоматизация транспорта (*В. П. Бобров*) 214

Общие сведения 214
Самотечный способ транспортирования 214
Полусамотечный способ транспортирования 219
Принудительный способ транспортирования 220
Подъемники 232
Список литературы 234

Глава 9 Автоматические загрузочные устройства (*А. Н. Малов*) 235

Назначение и виды 235
Магазинные устройства 235
Магазины-накопители 264
Бункерные устройства 265
Механизмы поштучной выдачи 298
Питатели 298
Устройства для прессов холодной штамповки 328
Список литературы 332

Глава 10. Промышленные роботы (*Ю. Р. Козырев*) 334

Основные сведения 334
Основные типы отечественных роботов 347
Применение 364
Подготовка производства к применению роботов 376
Список литературы 379

Глава 11. Автоматизация и механизация контроля размеров (*Н. Н. Марков*) 381

Основные средства 381
Средства активного контроля 381
Контрольные автоматы 411
Контрольные приспособления 416
Список литературы 416

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Глава 12 Основные положения (*Б. Л. Богуславский*) 418

Производительность 419
Испытания и контроль 421
Числовые оценки качества (технического уровня) 425
Список литературы 430

Глава 13. Токарные полуавтоматы и автоматы (*Б. Л. Богуславский*) 431

Классификация и область их применения 431
Токарно-револьверные автоматы 434
Многошпиндельные автоматы и полуавтоматы 441
Гидрофицированные токарные автоматы и полуавтоматы 453
Список литературы 453

Глава 14. Станки с системами числового программного управления (*Б. Л. Богуславский*) 454

Классификация 454
Системы числового программного управления станками 462
Составление программы для фрезерного станка 463
Составление программы для сверлильного станка 473
Станки-комбайны (обрабатывающие центры, многоцелевые станки) 474
Список литературы 478

Глава 15. Станки с системами циклового программного управления, с самоприспосабливающимися системами. Агрегатные полуавтоматы и автоматы (*Б. Л. Богуславский*) 480

Станки с системами циклового программного управления . 480
Станки с самоприспосабливающимися системами . . 487
Агрегатные полуавтоматы и автоматы . 494
Список литературы . 497

Глава 16. Автоматические линии (*Б. И. Черпаков, А. А. Моисеев*) 498

Общие сведения 498
Технологические процессы 516
Системы управления 522
Производительность 528
Надежность 530
Коэффициент готовности . . 536
Оценка технического уровня 547
Список литературы 550

Глава 17. Автоматизированные системы для мелкосерийного производства (*Л. Н Грачев, Д. Е Гиндин*) 552

Общие сведения 552
Конструктивное исполнение 556
Список литературы 561

АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРКИ И СОРТИРОВКИ

Глава 18. Основы разработки технологических процессов автоматической сборки изделий (*М. П. Новиков, В К. Замятин*) 562

Построение технологического процесса автоматической сборки 562
Технологичность конструкций для условий автоматической сборки 563
Методы автоматической сборки 564
Типовые и групповые технологические процессы 565
Оптимизация технологических процессов автоматической сборки 566
Основные элементы автоматической сборки 568

Глава 19. Базирование и соединение деталей при автоматической сборке (*М. П. Новиков, В. К. Замятин*) 577

Погрешности относительного ориентирования деталей 577
Условия собираемости 583
Силы, возникающие при соединении деталей 583
Выбор рациональной жесткости технологической системы . . . 584
Автоматическая сборка с применением самоприспосабливающихся систем 585
Автоматическая сборка соединений с зазором во вращающемся потоке газов 585

Глава 20. Оборудование для автоматической сборки изделий (*М. П. Новиков, В. К. Замятин*) 586

Основные типы 586
Однопозиционные полуавтоматы и автоматы 588
Многопозиционные полуавтоматы и автоматы 588
Роторные автоматы 589
Агрегатное автоматическое оборудование . . . 590
Комбинированное автоматическое оборудование 592
Полуавтоматические и автоматические линии 593
Сборочные линии с непрерывным перемещением собираемого объекта 596
Контрольно-сортировочные автоматы 596
Роботы 598
Список литературы (к гл. 18, 19, 20) 599

ПРИЛОЖЕНИЕ. Поверхностная индукционная закалка (*Г. А. Островский*) 600

Предметный указатель . . . 614
Предметный указатель сводный 622

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Глава 1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Технологическим процессом называется часть производственного процесса, содержащая действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства (ГОСТ 3.1109—73).

Для ускорения разработки и осуществления технологических процессов применяют их типизацию (ГОСТ 14.303—73).

Технологическая операция — законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Установ — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

Технологический переход — законченная часть технологической операции, характеризуемая постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.

Вспомогательный переход — законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей, но необходимы для выполнения технологического перехода.

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки.

Вспомогательный ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки, но необходимого для выполнения рабочего хода.

Позиция — фиксированное положение, занимаемое неизменной закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции.

Механизация — это замена ручных средств труда машинами и механизмами с применением для их действия различных видов энергии. В зависимости от степени оснащения процесса техническими средствами и рода работ различают частичную и комплексную механизацию.

Комплексная механизация — применение машин и механизмов для всех основных и вспомогательных работ.

Автоматизация — процесс, при котором функции управления и контроля, ранее выполнявшиеся человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам.

Частичная автоматизация — это автоматизация отдельных производственных операций. При *комплексной автоматизации* участок, цех, завод и т. д. действуют как единый взаимосвязанный автоматический комплекс в основном при централизованном управлении.

Полная автоматизация предусматривает управление комплексно-автоматизированным производством без участия человека.

Работа автоматизированных станков определяется продолжительностью такта, т. е. интервалом времени, через который периодически производится выпуск изделий. Расчет продолжительности такта производят по циклограмме.

Тип **производства** определяется серией, партией и программой. Условно производство деталей и машин подразделяют на три типа: единичное, серийное и массовое.

Серийное производство делят на мелко- (6—25 единиц), средне- (26—150 единиц) и крупносерийное (свыше 150 единиц).

Качество продукции — совокупность свойств продукции, удовлетворяющих определенным потребностям в соответствии с ее назначением. Оно определяется при одновременном рассмотрении и оценке технических, эксплуатационных, конструкторско-технологических параметров, норм надежности и долговечности, художественно-эстетических свойств и экономических показателей.

Системы управления СУ. В станках применяют различные системы управления, задача которых — обеспечить высокое качество и оптимальные условия обработки.

Для расчета и исследования надежности СУ целесообразно использовать информационный подход [3] Объектом управления является станок с узлами, несущими обрабатываемую деталь, режущий и измерительный инструмент, с приводами и со вспомогательными устройствами. Все команды СУ могут поступать по определенным каналам в систему СПИД и обратно. Информационные признаки (каналы) в СУ тесно связаны и зависят друг от друга. В главных информационных каналах могут содержаться дополнительные каналы, не имеющие собственных задающих и измерительных устройств. Некоторые из информационных признаков являются обязательными, другие необязательными, так как самостоятельно существовать не могут. Кроме того, должна быть предусмотрена возможность включения в классификацию новых информационных признаков.

Можно выделить следующие основные виды информации: программы; процесса обработки; окружающей среды; точности; планирования; эксплуатации, производительности; приведенных затрат; прочие.

Информация программы характеризует размеры детали и технические условия ее обработки, технологические команды и режимы перемещения узлов системы СПИД.

Информация процесса обработки характеризуется периодическим или непрерывным регулированием одних параметров резания или технологических вариантов (число проходов) в зависимости от фактического значения других. Системы могут быть использованы для оптимизации процесса обработки, информации

точности, окружающей среды и т. д. Системы управления, основанные на этом виде информации, называют самоприспосабливающимися (*адаптивными*).

Самоприспосабливающиеся системы — замкнутые системы, компенсирующие возмущения процесса обработки. В зависимости от результатов сравнения фактических значений с заданными изменяется выходная информация. Таким образом осуществляется предельное регулирование, которое характеризуется заранее определенной стратегией. При оптимальном регулировании процесс автоматически интенсифицируется путем использования описывающей его математической модели и стратегии поиска оптимального решения. Несмотря на то, что формализация процесса обработки может быть осуществлена только весьма приближенно, даже такой поиск оптимального варианта способствует значительному повышению производительности.

Установить регулируемые параметры для систем предельного регулирования при черновой обработке сравнительно просто. Предельные значения силы P резания, крутящего момента M и мощности N определяются станком, инструментом и деталью. В соответствии с этим для регулирования выбирают такие значения подачи s, глубины резания t и скорости v, при которых фактические величины P, M и N приближаются к предельным, но не превышают их.

Еще одна особенность самоприспосабливающихся систем состоит в том, что информация программы в них не задана жестко, а изменяется в зависимости от фактических условий. Таким образом, СУ превращается в систему оптимизации и управления.

Информация окружающей среды необходима прежде всего для прецизионных и отделочных станков, а также в тех случаях, когда температура, тепловые деформации, загрязнение, влажность или другие факторы могут оказать существенное влияние на процесс обработки или на безопасность обслуживания. Обычно информация окружающей среды требует применения специальных измерительных устройств, которые представляют собой пассивные средства, хотя в ответственных случаях возможно или необходимо введение автоматической системы регулирования. Информация окружающей среды тесно связана с информациями программы и процесса обработки. Она играет большую роль в системах управления высокоточными станками.

Информация окружающей среды содержит главным образом данные о тепловых деформациях обрабатываемой детали и узлов станка (шпинделя, станины, стойки и др.), оказывающих наибольшее влияние на точность размеров и формы.

Информация точности подается в СУ для выполнения заданных требований к точности размеров и формы, а также к качеству поверхности; она может быть пассивной или активной. В зависимости от принятого метода измерения информация точности может быть основана на прямых (контроль обработанной поверхности) или косвенных (положение узла, несущего инструмента, измерение износа резца и др.) данных.

С информацией точности связано качество детали; поэтому, несмотря на то, что она зависит от других видов информации, ее следует выделить. СУ, оперирующие информацией точности, должны способствовать освобождению человека от контроля обработанных поверхностей, от выявления необходимости подналадочных операций, смены режущего инструмента и т. д. В некоторых системах автоматического

позиционирования информация окончательной точности отделяется от информации предварительной (грубой) установки.

Ошибки при обработке деталей могут быть систематическими и случайными.

Если систематическая ошибка значительно больше случайной, то система автоматического контроля (САК) строится в функции времени или некоторого числа деталей, после обработки которых происходит автоматическая подналадка. В последнем случае измерительное устройство и обратная связь не нужны, но необходимо устройство для коррекции накопленной погрешности. Если случайная ошибка составляет значительную часть поля допуска, то САК представляет собой измерительное устройство с обратной связью.

Информация планирования включает учет и диспетчирование. С помощью автоматизированного планирования можно более рационально распределять между станками заказы, а также улучшать использование каждого из них. На определенном отрезке времени (рабочий день, несколько смен, неделя и т. д.) осуществляется такой порядок обработки деталей, который обеспечивает оптимальное планирование программы для отдельных станков. Одновременно могут быть выполнены расчеты оптимального размера партий деталей по формулам из работ [3 и 4].

Информация эксплуатации обобщает почти все виды информации и зависит от многих факторов. Она связана с общей информацией планирования и составляет неразрывное целое с информацией организации производства.

Информация производительности является результирующей; от ее показателей зависит выпуск не только каждой машины, но и участка, а иногда и цеха. Естественно, что она связана со всеми другими видами информации. По данным информации производительности должна осуществляться коррекция по всем каналам СУ. Поэтому информация производительности выражается в данных о количестве годных деталей, выпущенных в единицу времени.

Для учета производительности применяют счетчики, регистрирующие выход каждой готовой детали; это пассивная информация производительности. В связи с сочетанием СПИД-ЭВМ информация производительности превращается в активную, т. е. воздействующую на систему управления для получения более высокой, а со временем и оптимальной производительности.

Информация приведенных затрат контролирует экономическую эффективность работы отдельных станков, линий, участков и т. д.

Такая систематизация каналов информации позволяет построить расчетные схемы надежности и оценить производственный эффект от их внедрения в СУ станками.

Полные аналитические зависимости по надежности можно составить, используя теорию марковских случайных процессов, или методом численного моделирования с последующим расчетом на ЭЦВМ или на специальных аналого-цифровых моделирующих машинах. Однако ряд задач более простого характера можно решить по элементарным зависимостям теории вероятностей [4 и 5].

Разберем несколько примеров.

Пример 1. Вероятность безотказной работы n-канальной системы управления, если каждый канал информации выходит из строя независимо

от других и вероятность наступления отказов в течение заданного отрезка времени не зависит от количества отказов в предыдущее и последующее время, составит [6]

$$P_{с.у}(t) = \prod_{1}^{n} P_i(t) \tag{1}$$

где P_i — вероятность безотказной работы i-го канала информации, описанная определенным законом распределения времени безотказной работы.

Интенсивность отказов

$$\lambda_{с.у} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \tag{2}$$

Вероятность безотказной работы i-го канала информации за время t для стационарных ординарных потоков отказов без последствия

$$p_i(t) = e^{-\lambda t}. \tag{3}$$

Вероятность отказа i-го канала информации

$$Q_i(t) = 1 - e^{-\lambda t} \tag{4}$$

Если СУ станком имеет n каналов информации, которые выходят из строя независимо друг от друга с вероятностью q_i, то можно найти вероятность того, что система откажет за время t при условии, что система продолжит работать в случае, если m каналов находятся в исправном состоянии (например, информация программы и процесса обработки и др.).

Для остановки СУ необходимо и достаточно, чтобы отказало $(m+1)$ каналов. Вероятность этого события

$$Q_{m,n} = 1 - \sum_{i=0}^{n} P_{i,n}. \tag{5}$$

Пример 2. СУ станка имеет четыре канала информации, но станок может продолжать работать при условии, что любые два из четырех каналов функционируют нормально. Каждый канал информации за время работы станка t выходит из строя независимо от других с вероятностью $q_i = 0{,}1$. Найти вероятность того, что за время t СУ станка вынуждена будет остановиться.

Р е ш е н и е. Отказ СУ наступает при выходе из строя не менее чем $(m+1) = 3$ информационных каналов. Тогда по формуле (5) имеем

$$Q_{1,4} = 1 - (P_{0,4} + P_{1,4}) = 1 - \left(P^4 + C_4^1 q P^3\right) \approx 0{,}05.$$

Применяя теоремы сложения и умножения [7], можно вычислить вероятность появления события в условиях работы независимых каналов информации, имеющих разные характеристики.

Воспользуемся производящей функцией вероятностей $P_{m,n}$, которая имеет вид

$$\varphi_n(z) = \prod_{i=1}^{n} (p_i + q_i z) = \sum_{m=0}^{n} Q_{m,n} z^m, \tag{6}$$

где z — произвольный параметр.

Разложение функции $\varphi(z)$ по степеням параметра z дает в качестве коэффициентов вероятности $P_{m,n}$.

В случае, если

$$\left.\begin{aligned} p_1 = p_2 = \cdots = p \\ q_1 = q_2 = \cdots = q \end{aligned}\right\}, \text{ где } q_i = 1 - p_i,$$

производящая функция обращается в n-ю степень бинома $(q + pz)$:

$$\varphi_n(z) = (q + pz)^n = \sum_{m=0}^{n} C_n^m p^m q^{n-m} z^m.$$

Пример 3. СУ станка имеет четыре канала информации с вероятностью выхода из строя независимо от других соответственно $q_1 = 0{,}1$; $q_2 = 0{,}2$; $q_3 = 0{,}3$; $q_4 = 0{,}4$. Найти вероятность того, что за время t СУ а) не выйдет из строя ни одного раза; выйдет из строя: б) один раз, в) два раза, г) три раза, д) четыре раза за время t.

Р е ш е н и е. Составляем по формуле (6) производящую функцию:

$$\varphi(z) = \prod_{i=1}^{4} (p_i + q_i z) =$$

$$= (0{,}9 + 0{,}1z)(0{,}8 + 0{,}2z)(0{,}7 + 0{,}3z)(0{,}6 + 0{,}4z) =$$

$$= 0{,}302 + 0{,}440z + 0{,}215z^2 + 0{,}040z^3 + 0{,}002z^4.$$

Следовательно, вероятность того, что СУ за время t: а) не выйдет из строя ни одного раза $P_{0,4} = 0{,}302$; б) откажет один раз $P_{1,4} = 0{,}440$; в) откажет два раза $P_{2,4} = 0{,}215$; г) откажет три раза $P_{3,4} = 0{,}040$; д) откажет четыре раза $P_{4,4} = 0{,}002$.

Результаты подсчетов показывают, что наиболее вероятно за время t СУ откажет один раз.

Зная, сколько времени требуется на восстановление работоспособности отдельных каналов информации, можно подсчитать время обслуживания СУ станков и АЛ.

Если цепь, осуществляющая канал информации, имеет недостаточно надежное звено, вводят элемент резервирования, надежность которого сравнительно просто определяется применением элементарных зависимостей теории вероятностей.

Совершенствование СУ путем добавления к существующим дополнительных новых каналов информации требует тщательного анализа и расчета. У нового самостоятельного канала информации свой показатель надежности $P_{\text{доп}} < 1$. Следовательно, те преимущества, которые он обеспечивает при эксплуатации машины, должны превышать потери, связанные с понижением надежности всей СУ [см. зависимости (1), (4), (5) и (6)].

В каналах точностной информации часто приходится определять вероятность того, что отклонение размера не превзойдет определенной величины. В этих расчетах могут встретиться два случая: наличие или отсутствие систематической ошибки.

Вероятность попадания случайной величины x на участок от α до β [5]

$$P(\alpha < \beta) = \Phi^*\left(\frac{\beta - m}{\sigma}\right) - \Phi^*\left(\frac{\alpha - m}{\sigma}\right), \qquad (7)$$

где Φ^* — функция распределения, соответствующая простейшему нормальному закону с параметрами 0,1,

$$\Phi^*(-\infty) = 0; \quad \Phi^*(+\infty) = 1; \qquad (8)$$

$\frac{\beta - m}{\sigma}$ — расстояние от правого конца участка β до центра рассеяния, выраженное в средних квадратических отклонениях; $\frac{\alpha - m}{\sigma}$ — расстоя-

ние от левого конца участка α до центра рассеяния, выраженное в средних квадратических отклонениях; m — параметр нормального распределения (центр симметрии, центр рассеяния).

Пример. Нужно найти вероятность того, что отклонение измеренной величины от заданной не превзойдет $\pm 1{,}6$ мкм при условии, если случайная величина x распределена по нормальному закону.

Систематическая ошибка в первом случае не превосходит $+1{,}2$ мкм, во втором случае она отсутствует, а среднее квадратическое отклонение ошибки измерения $\sigma = 0{,}8$ мкм

$$P(-1{,}6 < X < 1{,}6) = \Phi^*\left(\frac{1{,}6 - 1{,}2}{0{,}8}\right) - \Phi^*\left(\frac{-1{,}6 - 1{,}2}{0{,}8}\right) =$$

$$= \Phi^*(0{,}5) - \Phi^*(-3{,}5)$$

Принимая табличное значение $\Phi^*(x)$, получим

$$P = (-1{,}6 < X < 1{,}6) = 0{,}6915 - 0{,}0002 = 0{,}6913.$$

Если систематическая ошибка равна нулю, то задача становится более простой, а формула для ее решения более компактной, так как участок симметричен относительно центра рассеяния:

$$P(|X - m| < l) = 2\Phi^*\left(\frac{l}{\sigma} - 1\right),$$

где $l = 1{,}6$. Тогда

$$P(|X - m| < 1{,}6) = 2\Phi^*\left(\frac{1{,}6}{0{,}8}\right) - 1 \approx 0{,}955.$$

Из этого примера видно, какое большое влияние оказывает систематическая ошибка на вероятность отклонения размера. Отсюда необходимость использования всех имеющихся средств для ее снижения или автоматической компенсации.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Автоматизированный технологический процесс [2] обычно проектируют по заданной годовой программе выпуска изделий P (шт/год); к этому количеству прибавляют допустимый процент k брака и запасных изделий, и дальнейшие ориентировочные расчеты ведут исходя из $P(1 + 0{,}0k)$ шт/год. Часовая производительность (шт/ч)

$$Q = \frac{P(1 + 0{,}0k)}{F_{\text{год}}\eta_{\text{к. р}}}, \tag{9}$$

где $F_{\text{год}}$ — регламентируемое годовое число часов; $\eta_{\text{к. р}} = 0{,}97$ — коэффициент, учитывающий время капитального ремонта.

Можно подсчитать часовую (шт/ч) производительность также по формуле

$$Q = \frac{60}{T_{\text{т}}}\eta_{\text{э}}, \tag{10}$$

где $T_{\text{т}}$ — время такта, мин; $\eta_{\text{э}}$ — коэффициент готовности (для предварительных расчетов $\eta_{\text{э}} = 0{,}75 \div 0{,}85$)

Следовательно, такт (мин)

$$T_{\text{т}} = \frac{60F_{\text{год}}\eta_{\text{к. р}}\eta_{\text{э}}}{P(1 + 0{,}0k)}. \tag{11}$$

Для многопоточных линий и производств время такта (мин)

$$T_{\text{т. р}} = \frac{60F_{\text{год}}p\eta'_{\text{к. р}}\eta'_{\text{э}}}{P(1 + 0{,}0k)}, \tag{12}$$

где p — количество потоков.

Для переналаживаемых линий и производств с общим временем переналадки в течение года $F_{\text{пер. год}}$

$$T_{\text{пер}} = \frac{60\,(F_{\text{год}} - F_{\text{пер. год}})\,\eta_{\text{к. р}}\eta_{\text{э}}}{\sum P_i\,(1 + 0{,}0k)}, \qquad (13)$$

где $F_{\text{пер. год}} \leqslant 0{,}1F_{\text{год}}$

При выборе оборудования необходимо руководствоваться тем, что калькуляционное время $t_k = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{п. з}}}{n}$, где $t_{\text{шт}}$ — штучное время, мин; $t_{\text{п. з}}$ — подготовительно-заключительное время, мин; n — число деталей в партии. Тогда для массового и крупносерийного производства, где $n \to \infty$, можно считать, что $t_{k n\to\infty} \to t_{\text{шт}}$. Для единичного и мелкосерийного производства можно считать, что $n \to 1$; тогда $t_{k n\to 1} \to t_{\text{шт}} + t_{\text{п. з}}$

Следовательно, особое внимание должно быть уделено механизмам настройки, наладки, регулирования и всему, что связано с $t_{\text{п. з}}$, т. е переналадкой

Зная $T_{\text{т}}$, выдают задание на проектирование или подбор оборудования:

$$T_{\text{т}} = T_{\text{ц max}} + t_{\text{в. л}}, \qquad (14)$$

где $T_{\text{ц. max}}$ — продолжительность цикла лимитирующего станка; $t_{\text{в л}}$ — продолжительность внецикловых несовмещенных операций.

Если $T_{\text{ц max}}$ меньше того, что может быть получено на одном станке (позиции), приходится переходить на дублирование оборудования на этой позиции, т. е на частичную многопоточность, на производство «с ветвящимся потоком».

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Выбор технологического процесса (ГОСТ 14.304—73, 14.305—73, 14.306—73) и его автоматизация с помощью высокопроизводительного оборудования — техническая и экономическая задача [1, 2].

Технологическая документация — графические и текстовые документы, определяющие технологические процессы изготовления продукции. К ним относятся технологические карты, операционные карты, операционные чертежи и т. д., а также конструкторская документация, ведомости заказа и нормы расхода материалов, полуфабрикатов и т. п.

Проектирование технологического процесса обычно проходит пять стадий [1, 2]: 1) выбирают заготовку и план обработки; 2) выбирают оборудование, приспособления и инструменты, которые могут обеспечить выпуск изделия заданного качества в необходимых количествах в единицу времени; 3) выбирают режимы эксплуатации орудий производства в соответствии с пп.1 и 2; 4) определяют затраты для разных вариантов сочетаний по пп. 1, 2 и 3; 5) выбирают оптимальный вариант технологического процесса в соответствии с результатами п. 4.

Для решения технико-экономической задачи (п. 5) по определению оптимального варианта обработки, наиболее выгодного оборудования и наиболее экономичных условий необходимо установить хотя бы основные параметры, от которых они зависят. Далее приведены некоторые из них (рис. 1).

Обрабатываемое изделие ($И_l$) характеризуется следующими переменными: размером, формой, материалом, классом точности и шероховатости обработки, годовым и общим выпуском, себестоимостью одного изделия, себестоимостью годового выпуска и т. д.

Заготовка $З_i$ характеризуется размером, формой и припусками (металлоемкостью), обрабатываемостью, стоимостью одной заготовки $С_{зi}$ и т. д.

Оборудование $Об_i$ определяется технологическим процессом $Пр_i$, видом и количеством выполняемых операций и переходов, классом точности и шероховатости обработки, количеством потоков и позиций, количеством инструментов, мощностью, габаритами, надежностью, продолжительностью наладки и подналадки, стоимостью $С_{об\,i}$, штучной производительностью (расчетной, теоретической).

Оборудование для комплексной обработки характеризуется количеством единиц основного и вспомогательного оборудования. Основное оборудование подразделяют по виду обработки, методу получения

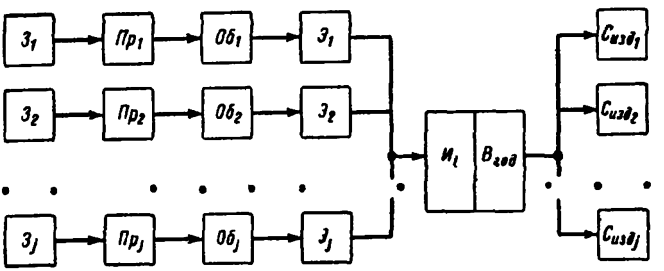


Рис. 1. Структурная схема обработки изделий (технологических процессов):
З — заготовка, *Пр* — технологический процесс; *Об* — оборудование, *Э* — эксплуатация; *И* — изделие; $В_{год}$ — годовой выпуск; $С_{изд}$ — штучная себестоимость изделия (приведенные затраты); *1, 2, ...j* — варианты

заданных поверхностей, технологическим и конструктивным схемам, точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей, мощности, производительности, степени автоматизации, стоимости ($С_{об.\,осн.\,i}$), удельной стоимости $С_{об.осн.\,i/изд.\,i}$, приходящейся на одно обрабатываемое изделие. Вспомогательное оборудование подразделяют на приспособления транспортное, накопительное, загрузочное, контрольное и т. д. Каждый из этих видов вспомогательного оборудования характеризуется точностью, мощностью, производительностью, степенью автоматизации, стоимостью $С_{об.\,всп.\,i}$ и удельной стоимостью $С_{об\ всп\ i/изд\ i}$, приходящейся на одно изделие.

Режимы эксплуатации $Э_i$ характеризуются материалом, припусками, геометрией и режущими свойствами инструмента (которыми, как и материалом заготовки, определяются допустимые глубина резания, скорость, подача и другие условия резания), стойкостью, стоимостью $С_{ин.i}$ и удельной стоимостью инструмента $С_{ин\ i/изд\ i}$, используемой мощностью, количеством смен, продолжительностью цикла $Т_ц$ или такта $Т_т$, фактической производительностью (коэффициент готовности), удельными расходами по заработной плате $С_{зар\ /изд}$, расходами по эксплуатации оборудования и другими расходами на одно изделие $С_{э/изд}$.

Технологический процесс обработки изделия в машиностроительных предприятиях может быть выражен в виде следующей функции [2]:

$$f(И_i,\ З_i,\ Пр_i,\ Об_i,\ Э_i) = 0. \qquad (15)$$

Эта функция включает технические и экономические зависимости.

Графически обработка изделия может быть представлена в виде схемы на рис. 1.

Технологический процесс и любая рабочая машина тем совершеннее, чем в большей степени процесс приближается к непрерывному.

Коэффициент, характеризующий степень непрерывности процесса,

$$\eta_k = \frac{t_k}{T_ц}, \qquad (16)$$

где t_k — несовмещенная продолжительность резания или сборки, мин, $T_ц$ — продолжительность цикла, мин.

В качестве первого классификационного признака принято (рис. 2) количество изделий $И$, изготовляемых на машине одновременно: $И = 1$ и $И \geqslant 2$.

Каждый из этих классов, в свою очередь, подразделяют на два подкласса в зависимости от количества позиций, в которых производится обработка каждой детали: $П = 1$ и $П \geqslant 2$.

При проектировании новых машин и при эксплуатации существующих количество позиций в значительной степени определяет технологические возможности. Чем сложнее обрабатываемая деталь, тем большее количество позиций требуется в автоматическом станке или в автоматизированной линии для рациональной обработки этой детали.

Все АЛ являются многопозиционными. Кроме того, машины-орудия могут быть одно-и многопоточными ($р = 1$; $р \geqslant 2$), т. е. могут одновременно выпускать одну или несколько деталей за цикл работы станка. Помимо этого, каждая деталь может обрабатываться одним или несколькими инструментами ($т = 1$ и $т \geqslant 2$) при одном или нескольких переходах в каждой позиции ($п = 1$ и $п \geqslant 2$). Примеры автоматизированных процессов обработки приведены на рис. 3.

Каждая из приведенных в классификации технологических схем имеет свои технико-экономические показатели [2].

По технологическим возможностям наиболее высокими показателями обладают последовательная и параллельно-последовательная обработки ($П \geqslant 2$; $т \geqslant 2 \div 6$).

Количество позиций и потоков определяют в зависимости от заданной годовой программы и выбранного технологического процесса.

Если общее время обработки на многопозиционной машине или на автоматической линии обозначить через $T_{общ}$, то наиболее выгодным подразделением его по позициям можно считать

$$T_{1П} \approx T_{2П} \approx \cdots \approx T_{пП} \approx \frac{T_{общ}}{n}, \qquad (17)$$

где $T_{1П}$, $T_{2П}$, ..., $T_{пП}$ — соответственно время обработки на первой, второй, ..., n-й позиции.

На практике трудно выдержать равенство (17), поэтому всегда появляется лимитирующая позиция $П_{лим}$, которая определяет производительность проектируемого агрегата. Для повышения выпуска можно прибегнуть к подразделению обработки на $П_{лим}$ между двумя

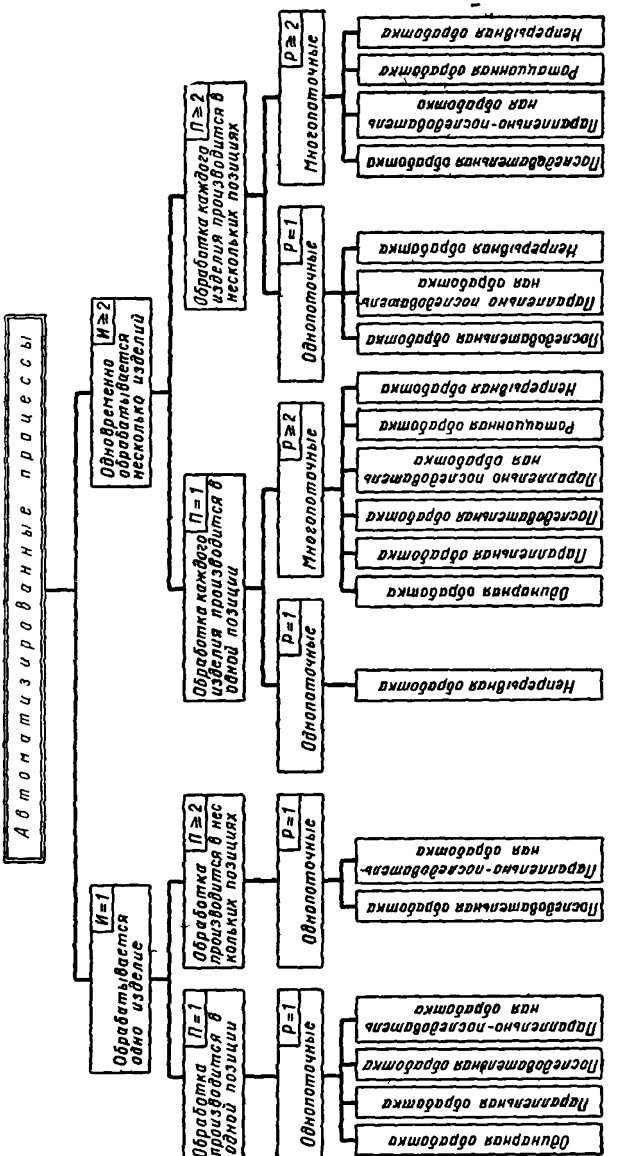


Рис. 2. Классификация автоматизированных процессов обработки

позициями $T_{лим}/2$, тремя $T_{лим}/3$ ... Большей частью в этом случае появляются новая или новые лимитирующие позиции и т. д. Другое средство повышения производительности — форсирование режимов на лимитирующей позиции или дублирование ее.

Математически можно найти оптимальное количество позиций, превышать которое невыгодно вследствие резкого увеличения потерь.

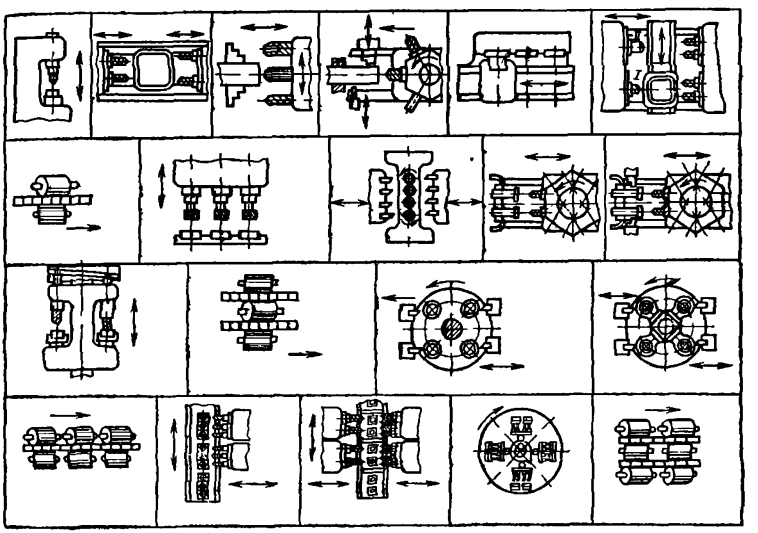


Рис. 7. Примеры автоматизированных процессов обработки

Определять оптимальное количество потоков машин связанной конструкции можно следующим образом Обозначим· T — рассматриваемый отрезок времени; q_n — отношение времени работы в одном потоке к T; r_n — отношение времени простоя одного потока к T по причинам, связанным с неполадками в этом потоке; u_n — отношение общего времени простоя в одном потоке, связанного с неполадками в данном потоке и на других потоках, к T; p — число потоков. Очевидно, что

$$u_n + q_n = 1. \tag{18}$$

Считая, что простои многопоточного станка связанной конструкции за большой промежуток времени происходят в равной мере по причинам, связанным с неполадками на каждом из p потоков, можно написать, что $\frac{u_n}{p} = \text{const}$. Так как время простоев пропорционально времени работы, можно принять отношение $\frac{q_n}{r_n} = S$. Решая все три зависимости относительно q_n, получим

$$q_n = \frac{S}{p+S}; \tag{19}$$

отсюда следует, что с увеличением числа потоков p величина q_n уменьшается.

Если обозначить суммарное время полезной работы всех потоков в течение времени T через A_p, можно записать

$$A_p = pq_nT = \frac{pS}{p+S}T = \frac{S}{1+\frac{S}{p}}T. \qquad (20)$$

Тогда

$$\lim_{p\to\infty} A_p = \lim \frac{S}{1+\frac{S}{p}}T = ST. \qquad (21)$$

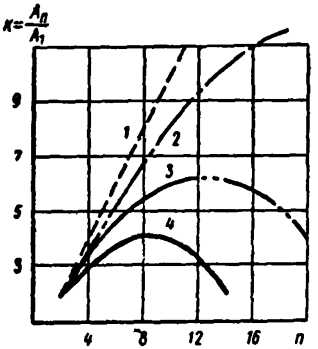


Рис. 4. Кривые изменения суммарной полезной работы многопоточного станка связанной конструкции при увеличении количества потоков:

1) $R_0 = 0$, $r_0 = 0$; *2)* $R_1 = 20$ мин; $r_1 = 0{,}04$, *3)* $R_2 = 30$ мин; $r_2 = 0{,}06$; *4)* $R_3 = 40$ мин, $r_3 = 0{,}08$

Полученное выражение указывает на то, что суммарное время полезной работы станка связанной конструкции не может быть более q_n/r_n.

Определяя опытным путем значения q_1 и r_1 (для однопоточного станка), можно установить оптимальное число потоков в станке определенного назначения. На рис. 4 [2] даны кривые изменения (отношения суммарной длительности работы всех потоков многопоточного станка A_p к продолжительности работы однопоточного станка A_1) при увеличении количества потоков p для разной продолжительности простоев R.

При этих расчетах обычно исходят из того, что остановки станка происходят в разное время по причинам, связанным со станком, и вследствие выхода из строя какого-либо инструмента.

Особенности сборочных процессов автоматического оборудования для их выполнения см. стр. 564—600. С развитием техники непрерывно должно увеличиваться и оптимальное число потоков и позиций.

Основные технико-экономические показатели. Точность станка характеризует его способность обеспечивать правильность формы и размеров обрабатываемых деталей в заданных пределах в течение длительного времени. Обычно различают статическую (расположение узлов станка в ненагруженном состоянии), кинематическую (передаточные отношения кинематических цепей) и производственную (расположение узлов станка во время работы) точность станков.

При обработке деталей на автоматических станках при заданных наладке и настройке рассчитывать погрешности можно исходя из закона распределения Гаусса.

По закону Гаусса между среднеквадратичным σ_q, средним арифметическим $q_{ср}$, вероятным значением r, мерой точности h и практически предельным отклонением ξ имеются следующие соотношения:

$$\sigma_q \approx 1{,}253q_{ср} \approx 1{,}428r;$$

Ориентировочный расчетный баланс точности обработки деталей на автоматах разных типов

Станок	Обрабатываемые детали, их размер, мм	Погрешности, мкм								Среднее квадратическое рассеяние всех погрешностей, мм
		станка	наладки	из-за переменной нагрузки	зажимных устройств	измерений	по другим причинам	рассеяния размера обрабатываемой поверхности вследствие износа инструмента	результирующие	
Токарный многошпиндельный автомат, нормальной точности	Кольца ⌀ 100	20	60	30	20	10	10	76	150	74
повышенной точности	Кольца ⌀ 25	10	40	20	20	10	10	30	80	52
Продольно-фрезерный автомат	Плоскости шириной 150, длиной 300	20	80	30	20	10	10	50	140	90
Расточный полуавтомат	С межосевым расстоянием 300	20	20	—	—	10	10	10	40	30
Координатно-расточный автомат высокой точности		4	2	—	—	1	2	—	5	5
Круглошлифовальный автомат, нормальной точности	Валы ⌀ 50, длиной 300	5	3	3	5	3	3	5	15	10
повышенной точности		2	2	1	3	2	2	5	10	5

$$r \approx 0{,}845 q_{ср} \approx 0{,}675 \sigma_q;$$

$$h \approx \frac{0{,}707}{\sigma_q} \approx \frac{0{,}564}{q_{ср}} \approx \frac{0{,}477}{r}.$$

За практически предельное отклонение при законе Гаусса обычно принимают

$$\xi = \pm 3\sigma_q, \qquad (22)$$

соответствующее вероятности $P(x|<|\xi) = 0{,}9973$, или 0,27% от выхода отклонений за пределы ξ, т. е. за пределы $6\sigma_q$. Этот метод только приближенно отражает существующее положение для разных условий обработки.

При проектировании новых автоматизированных станков более целесообразно пользоваться методом разработки баланса точности. Ориентировочный расчетный баланс точности обработки деталей на автоматах разных типов приведен в таблице.

Шероховатость поверхности (ГОСТ 2789—73) — одна из основных характеристик качества обработки.

Ориентировочные погрешности (%), отнесенные к допуску при обработке наружных поверхностей деталей на токарных автоматах и полуавтоматах, следующие:

Неточность станка и наладки	10—25
Нежесткость системы станок—приспособление—инструмент—обрабатываемая деталь	10—25
Тепловые деформации в системе СПИД	5—20
Погрешности измерения	5—10
Изменение размеров режущего инструмента:	
вследствие износа	40—65
по случайным причинам	5—10

Примерно в таких же пределах сохраняется процентное соотношение погрешностей и для деталей, обработанных на станках других типов нормальной точности (неотделочных).

В автоматических станках повышенной точности и особо точных в значительной мере снижаются погрешности, появляющиеся вследствие износа и затупления инструмента, а также нежесткости системы. Наряду с этим возрастает влияние неточности станка и наладки, тепловых деформаций и погрешностей измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения. М., «Машиностроение», 1966 552 с.
2. Богуславский Б. Л. Автоматы и комплексная автоматизация М., «Машиностроение», 1964. 524 с.
3. Богуславский Б. Л. Системы управления станками. — «Станки и инструмент», 1973, № 10, с. 2—7.
4 Богуславский Б. Л. К надежности систем управления. — «Станки и инструмент», 1975, № 5, с. 4—5.
5. Вентцель Е. С. Теория вероятности. М., «Наука», 1969. 455 с.
6. Технология машиностроения. М., «Высшая школа», 1965.

Авт.: М. Е. Егоров, В. И. Дементьев и др.

Глава 2

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При оценке экономической эффективности новой техники (в том числе мероприятий по механизации и автоматизации производства) необходимо руководствоваться «Методикой (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений», а также отраслевыми методическими указаниями и инструкциями по конкретным видам техники, разработанными на основании этой методики.

Экономическую эффективность автоматизированного оборудования устанавливают при сопоставлении капитальных вложений, связанных с приобретением оборудования, и себестоимости продукции, производимой при помощи этого оборудования, по двум вариантам: новому (автоматизированное оборудование) и базовому.

За базу сравнения при определении эффективности нового автоматизированного оборудования принимают: на стадии проектирования — показатели лучшей техники; на этапе внедрения и эксплуатации — показатели заменяемой техники.

Основными показателями, характеризующими экономическую эффективность автоматизации, являются: снижение себестоимости продукции, расчетный коэффициент эффективности капитальных вложений, срок окупаемости капитальных вложений, годовой экономический эффект.

Расчет эффективности на этапе внедрения и эксплуатации производится за год службы оборудования по следующим формулам *:

снижение себестоимости продукции (руб.)

$$\Delta C = C_1 - C_2; \tag{1}$$

расчетный коэффициент эффективности капитальных вложений

$$E_р = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1}; \tag{2}$$

срок окупаемости капитальных вложений (год)

$$T_{ок} = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2}; \tag{3}$$

* Во всех формулах этого раздела индекс 1 относится к базовому варианту, индекс 2 — к новому варианту; отсутствие индексов означает, что показатели относятся к обоим сравниваемым вариантам.

годовой экономический эффект (руб.)

$$Э_г = (C_1 + E_н K_1) - (C_2 + E_н K_2). \quad (4)$$

В формулах (1)—(4) следующие обозначения: C_1 и C_2 — себестоимость годовой продукции по базовому и новому (внедряемому) вариантам, руб.; K_1 и K_2 — соответственно капитальные вложения по базовому и новому вариантам, руб.; $E_н$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Новое автоматизированное оборудование эффективно в том случае, если

$$E_р > E_н; \quad T_{ок} < T_н; \quad Э_г > 0,$$

где $T_н$ — нормативный срок окупаемости капитальных вложений (величина, обратная нормативному коэффициенту эффективности).

В практических расчетах следует принимать значения $E_н = 0{,}15$ и $T_н = 6{,}7$ год.

В (3) $T_{ок}$ представляет собой период времени, в течение которого дополнительные капитальные затраты, связанные с приобретением нового оборудования, возмещаются путем экономии себестоимости продукции, получаемой при использовании этого оборудования.

В (4) $Э_г$ определяется разницей приведенных затрат по базовому варианту по сравнению с новым вариантом.

В (4) положительное значение $Э_г$ — дополнительная годовая прибыль, получаемая в народном хозяйстве от внедрения нового оборудования, к тому, что предусмотрено нормативным коэффициентом эффективности.

При наличии более двух вариантов наиболее экономичным будет тот, который имеет минимальную величину приведенных затрат:

$$C + E_н K = \min. \quad (5)$$

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ

Преимущества станков с ЧПУ. Основные преимущества станков с ЧПУ по сравнению с универсальными станками с ручным управлением (РУ) следующие: повышение производительности, повышение точности и стабильности обработки, сокращение потребности в квалифицированной рабочей силе, сокращение сроков подготовки новых видов изделий и т. д. Но стоимость станков с ЧПУ в несколько раз превышает стоимость универсальных станков с РУ. Кроме того, возникают также дополнительные затраты по подготовке управляющих программ, настройке инструмента вне станка, обслуживанию электронных устройств. Поэтому внедрению станков с ЧПУ должен предшествовать экономический анализ, устанавливающий степень эффективности отдельных моделей станков в каждом конкретном случае в зависимости от сложности конструкций обрабатываемых деталей, размера партии запуска, повторяемости партий запуска, коэффициента загрузки и других факторов.

База сравнения. На стадии проектирования станков с ЧПУ для оценки прогрессивности новой разработки в качестве базы сравнения принимают показатели лучшей техники, спроектированной либо эксплуатируемой на предприятиях машиностроения. Если проектируе-

мый станок с ЧПУ предназначен для замены ранее изготовляемого станка с ЧПУ, то заменяемый станок принимают в качестве базы сравнения.

Если станки с ЧПУ предприятие приобретает для замены универсального оборудования с РУ, то последнее и следует принимать для сопоставления. Если расширяют производство или если заменяемое оборудование физически устарело, в качестве базового варианта нужно принимать современное универсальное оборудование, серийно выпускаемое промышленностью.

При использовании станков с ЧПУ в серийном и крупносерийном производстве базой сравнения может служить автоматизированное и специализированное оборудование.

Коэффициент приведения (эквивалентности). Расчеты сравнительной экономической эффективности станков с ЧПУ выполняют применительно к годовому выпуску деталей по новому варианту. Поэтому себестоимость продукции и капитальные затраты потребителя по базовому варианту должны быть приведены в вид, сопоставимый с затратами по новому варианту, для чего служит коэффициент приведения (эквивалентности).

Коэффициент приведения β определяет, сколько станков-аналогов может заменить один новый станок.

Коэффициент приведения β учитывается при подсчете затрат базового варианта по следующим статьям: стоимости оборудования, а также здания, занимаемого оборудованием, амортизации и содержанию здания, занимаемого оборудованием, ремонту оборудования. По всем остальным статьям капитальных вложений и себестоимости расчет затрат ведется на объем производства деталей по новому варианту, и поэтому в расчетных формулах по этим статьям коэффициент β непосредственно не участвует.

Коэффициент приведения (эквивалентности)

$$\beta = \frac{T_{\text{шт}\,1} + T_{\text{н}1}}{T_{\text{шт}\,2} + T_{\text{н}2}} \frac{\delta_2}{\delta_1}, \qquad (6)$$

где $T_{\text{шт}\,1}$ и $T_{\text{шт}\,2}$ — соответственно штучное время обработки годового выпуска деталей по базовому и новому вариантам, ч; $T_{\text{н}1}$ и $T_{\text{н}2}$ — соответственно время наладки (полная величина подготовительно-заключительного времени на партию деталей, включающая время на наладочные работы и на работы организационного характера) в год по базовому и новому вариантам, ч; δ_1 и δ_2 — коэффициенты загрузки соответственно по базовому и новому вариантам.

Коэффициент загрузки оборудования

$$\delta = \frac{K_{\text{см}} K_{\text{ис}}}{2}, \qquad (7)$$

где $K_{\text{см}}$ — коэффициент сменности работы оборудования; $K_{\text{ис}} = 0{,}85$ — коэффициент использования оборудования внутри смены по штучно-калькуляционному времени; 2 — планируемое число смен работы оборудования.

Для станков с ЧПУ на всех стадиях расчета (кроме расчета фактической эффективности) величина δ принимается равной 0,85, исходя из того, что эти станки должны работать полностью в две смены. При этом годовой фонд штучно-калькуляционного времени работы станка

с ЧПУ ($T_{шт\,2} + T_{н2}$) равен 3400 ч (85% от действительного или расчетного фонда времени работы оборудования при двухсменном режиме, равном 4015 ч). Для станков базового варианта с РУ величина δ принимается меньшей 0,85 с учетом фактического коэффициента сменности работы оборудования по данным конкретных предприятий.

Остальные показатели, входящие в формулу (6), определяют по формулам:

$$T_{шт\,1} = xT_{шт\,2}; \tag{8}$$

$$T_{шт\,2} = 3400 - T_{н2}; \tag{9}$$

$$T_{н1} = t_{н1}a_2S_n; \tag{10}$$

$$T_{н2} = t_{н2}a_2S_n, \tag{11}$$

где x — коэффициент сравнительной производительности нового станка по отношению к производительности базового станка; $t_{н1}$ и $t_{н2}$ — соответственно среднее время одной переналадки на базовом и новом станке, ч; a_2 — количество наименований деталей, обрабатываемых на новом станке в течение года; S_n — число запусков в год (при укрупненных расчетах принимают равным от 4 до 24, с возрастанием по мере увеличения серийности).

Коэффициент сравнительной производительности нового станка

$$x = \frac{t_{шт\,1}}{t_{шт\,2}} = \frac{\sum_{i=1}^{л} t_{шт\,1i}P_i}{\sum_{i=1}^{л} t_{шт\,2i}P_i}, \tag{12}$$

где $t_{шт\,1}$ и $t_{шт\,2}$ — соответственно среднее штучное время обработки одной детали из комплекта деталей-представителей на базовом и новом станке, ч; $t_{шт\,1i}$, $t_{шт\,2i}$ — соответственно штучное время обработки i-й детали на базовом и новом станке, ч; P_i — коэффициент статистического веса i-й детали, характеризующий время (в долях единицы) занятости станка при обработке деталей данной группы в годовом фонде штучного времени работы станка, принятом за единицу; $л$ — количество деталей-представителей (их должно быть не менее трех) *.

Количество наименований деталей, обрабатываемых на станке в течение года, может быть рассчитано по формуле

$$a_3 = \frac{3400}{mS_n t_{шт\,2} + t_{н2}S_n}, \tag{13}$$

где m — средняя партия запуска.

Определение капитальных вложений. Капитальные вложения, учитываемые в расчетах эффективности, включают стоимость: оборудования; здания, занимаемого оборудованием; служебно-бытовых объектов; специальных приспособлений; управляющих программ (УП);

* Методика подбора деталей-представителей и определения их статистического веса приведена во «Временной инструкции по определению сравнительной производительности и эффективности станков». М., ОНТИ ЭНИМС, 1972. 105 с.

оборотных средств в незавершенном производстве, а также затраты на подготовку кадров.

Балансовая стоимость оборудования, руб

$$K_{об} = \alpha Ц, \tag{14}$$

где $Ц$ — оптовая цена оборудования, руб.; α — коэффициент, учитывающий затраты по доставке и установке оборудования (для автоматических линий $\alpha = 1{,}18$, для станков $\alpha = 1{,}10$).

При наличии заводских данных о балансовой стоимости оборудования (по базовому или новому вариантам) $K_{ст}$ не рассчитывают, а принимают по данным бухгалтерского учета.

Стоимость здания, занимаемого оборудованием, руб.

$$K_{зд} = Ц_{пл} (S + S_{ус}) \gamma, \tag{15}$$

где $Ц_{пл} = 140 \div 170$ р. — средняя стоимость 1 м² общей площади здания механического цеха; S — площадь, занимаемая станком, м²; $S_{ус}$ — площадь, занимаемая устройством с ЧПУ и связанными с ним другими устройствами, м²; γ — коэффициент, учитывающий дополнительную площадь.

Величину γ определяют в зависимости от площади, занимаемой станком:

S, м²	До 2,5	3—5	6—9	10—14	15—20	21—40	41—75	Св. 75
γ	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5

Стоимость служебно-бытовых объектов завода (бытовые помещения, столовые и т. д.) учитывают в связи с тем, что применение станков с ЧПУ дает существенное сокращение в рабочей силе. Расчет ведут на условное количество рабочих, высвобождаемых благодаря внедрению станка с ЧПУ, по формуле

$$K_{сл} = Ц_{сл} S_б P_в, \tag{16}$$

где $K_{сл}$ — экономия в стоимости служебно-бытовых объектов, приходящаяся на один станок с ЧПУ, руб.; $Ц_{сл} = 200$ р. — стоимость 1 м² служебно-бытовых объектов (по данным Гипростанка); $P_в$ — количество условно-высвобождаемых рабочих при внедрении одного станка с ЧПУ [определяется по (17)]; $S_б = 7$ м² (по данным Гипростанка) — площадь служебно-бытовых объектов завода, приходящаяся на одного рабочего;

Количество условно-высвобождаемых рабочих $P_в$ при использовании станка с ЧПУ определяют по формуле

$$P_в = (P_{ст\,1} + P_{н1}) - (P_{ст\,2} + P_{н2} + P_{доп}), \tag{17}$$

где $P_{ст\,1}$ и $P_{ст\,2}$ — количество станочников по базовому и новому вариантам; $P_{н1}$ и $P_{н2}$ — количество наладчиков по базовому и новому вариантам; $P_{доп}$ — дополнительная потребность в работающих на одном станке с ЧПУ на подготовку управляющих программ, настройку инструмента вне станка, изготовление режущего и вспомогательного инструмента (сверх обычных нормативов), техническое обслуживание и ремонт устройств с ЧПУ.

При полной загрузке станка с ЧПУ в две смены ($\delta = 0{,}85$) $P_{доп} = 1$. Если $\delta < 0{,}85$, то соответственно уменьшается $P_{доп}$.

Количество станочников и наладчиков, обслуживающих один станок по вариантам, определяют соответственно по формулам

$$P_{ст} = \frac{T_{шт}}{1860d}; \quad (18)$$

$$P_{н} = \frac{T_{н}}{1860d}, \quad (19)$$

где 1860 — действительный годовой фонд времени рабочего, ч; d — число станков, обслуживаемых одним рабочим, шт.

Единовременные затраты на приспособления учитывают по базовому и новому вариантам.

Стоимость комплекта специальных приспособлений на все наименования деталей, обрабатываемых на станке в течение года, руб.

$$K_{пр} = K'_{пр}a_2, \quad (20)$$

где $K'_{пр}$ — средняя стоимость комплекта приспособлений для обработки деталей одного наименования (по всем сравниваемым технологическим операциям), руб.

Стоимость приспособлений $K'_{пр}$ может определяться по укрупненным нормативам (табл. 1).

1. **Укрупненные нормативы стоимости станочных приспособлений $K'^{*}_{пр}$**

Группа сложности приспособлений	Количество наименований деталей в приспособлении	Стоимость приспособления, руб.	Группа сложности приспособлений	Количество наименований деталей в приспособлении	Стоимость приспособления, руб
1	1—2	17	8	30—50	412
2	1—6	30	9	40—60	610
3	3—10	48	10	55—75	830
4	6—16	91	11	61—90	987
5	10—20	135	12	101—110	1159
6	15—30	187	13	95—135	1300
7	25—40	281	14	100—110	1444

* Расчет экономической эффективности от внедрения специальных станков, станков с ЧПУ и участков из станков с ЧПУ. М., НИИМАШ, 1975. 75 с.

Стоимость комплекта УП на все наименования деталей, обрабатываемых на станке с ЧПУ в течение года, руб

$$K_{уп} = K'_{уп}a_2, \quad (21)$$

где $K'_{уп}$ — стоимость УП на одно наименование детали, руб.

В табл. 2 приведены укрупненные показатели стоимости подготовки УП для станков с ЧПУ при ручном программировании в зависимости от модели станков с ЧПУ и сложности детали.

2. Укрупненные показатели стоимости подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ (при ручном программировании) *

Группа сложности детали	Модели станков с ЧПУ	Тип детали	Стоимость подготовки одной УП, руб
	2К135Ф2, 2Н135Ф2	Крышки, планки, фланцы, число отверстий — до четырех	8,4
2	1К62ПУ	Валы; число поверхностей — до четырех	15,8
3	6Н13Ф3	Крышки, планки; число поверхностей — до трех	18,9
4	654РФ3	Фланцы, крышки, планки, плиты; обработка до 10 отверстий, фрезерование до трех поверхностей	36,1
5	2Р135Ф2	Крышки, планки, фланцы; обработка до 20 отверстий, число инструментов — до шести	37,2
6	1П717Ф3, РТ725Ф3	Втулки, планки, шестерни; обработка до восьми поверхностей	37,2
7	1П717Ф2, РТ725Ф3	Втулки, планки, шестерни; обработка до 20 поверхностей	44,6
8	654Ф3	Крышки, планки, плиты, клинья, корпуса гидравлического оборудования; обработка до 20 отверстий и фрезерование до пяти поверхностей	50,4
9	16К20Ф3, 1Б732Ф3	Валы, шпиндели; обработка до двух поверхностей, включая обработку резьб	61,8
10	6306Ф4	Корпусные детали; обработка в двух плоскостях до двух осей расточки, пазов, крепежа с автоматической сменой инструмента	151,7
11	Б8906МФ	Корпусные детали; обработка в двух плоскостях до шести осей расточки, пазов, крепежа с автоматической сменой инструмента	213,7
12	2А622Ф4	Корпусные детали; обработка в четырех плоскостях до шести осей расточки, пазов, крепежа с авоматической сменой инструмента	414,7

Примечание. Для универсальных станков расходы по разработке операционной технологии принимаются с $K = 0,4$ к указанной стоимости УП.

* Расчет экономической эффективности от внедрения специальных станков, станков с ЧПУ, участков из станков с ЧПУ. М., ЭНИМАШ, 1975, 75 с.

Для новых станков с ЧПУ, не указанных в таблице, стоимость устанавливают аналогично. По универсальным станкам с РУ по этой статье учитывают расходы по разработке операционной технологии.

Оборотные средства в незавершенном производстве на рабочих местах, участвующих в обработке детали-представителя, рассчитывают по формуле

$$K_{\text{нез}} = 3m\,(C_{\text{з}} + C_{\text{об. д}} \cdot 0{,}5)\,n_0, \qquad (22)$$

где 3 — число партий деталей, приходящихся в среднем на одно рабочее место (одна партия — перед станком в ожидании обработки, вторая на станке в работе, третья — после станка в транспортировке или контроле); $C_{\text{з}}$ — стоимость заготовки, руб, $C_{\text{з}} = C_{\text{м}} P_{\text{м}}$ ($C_{\text{м}}$ — цена 1 кг заготовки, руб, $P_{\text{м}}$ — масса заготовки, кг); $C_{\text{об. д}}$ — себестоимость механической обработки детали по операциям, переводимым на станок с ЧПУ, руб.; $C_{\text{об. д}} = \dfrac{C}{T_{\text{шт}}}\, t_{\text{шт}}$; n_0 — количество операций, определяемое числом перестановок детали со снятием со станка (при определении n_0 учитывают за одну операцию те операции, которые последовательно одна за другой выполняются на одном рабочем месте без межоперационных транспортировок); 0,5 — коэффициент нарастания затрат.

Экономию единовременных затрат на подготовку кадров рассчитывают по формуле

$$K_{\text{п. к}} = 300 P_{\text{в}}, \qquad (23)$$

где 300 — средние затраты на обучение одного ученика на станочника второго разряда, руб.

Определение себестоимости механической обработки *. Себестоимость обработки деталей рассчитывают за год эксплуатации станка. Она включает следующие затраты: заработную плату станочника (оператора); заработную плату наладчика станка; заработную плату настройщика инструмента вне станка; на сборку (разборку) универсальной сборной оснастки; амортизационные отчисления на полное восстановление оборудования; на амортизацию и содержание здания, занимаемого оборудованием; на износ и содержание управляющих программ; на износ и содержание специальных приспособлений; на ремонт (включая капитальный) и техническое обслуживание оборудования (кроме устройств ЧПУ); на техническое обслуживание и ремонт устройств ЧПУ; на электроэнергию; на инструментальную оснастку.

Экономия заработной платы (на единицу продукции) при применении станков с ЧПУ имеет место вследствие роста производительности труда, многостаночного обслуживания, применения менее квалифицированной рабочей силы и является одним из главных факторов снижения себестоимости выпускаемой продукции.

Годовая заработная плата станочника (оператора), приходящаяся на один станок, руб.

$$З_{\text{з}} = \frac{НТ_{\text{шт}}}{d}, \qquad (24)$$

* Расчеты ведут только по изменяющимся прямым затратам и расходам на содержание и эксплуатацию оборудования без учета общецеховых, общезаводских и внепроизводственных расходов.

где H — среднечасовая заработная плата рабочего-станочника соответствующего разряда, руб.; $T_{шт}$ — штучное время обработки годового выпуска деталей, ч.

В соответствии с методическими указаниями по определению экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в станкостроительной и станкоинструментальной промышленности, утвержденными Минстанкопромом в 1977 г., при расчете эффективности станков с ЧПУ основная и дополнительная заработные платы производственных рабочих, определенные по формулам (24), (25), (26), берутся с учетом выплат из общественных фондов потребления с коэффициентом 1,35 (в порядке эксперимента).

Среднечасовую заработную плату рабочего определяют путем умножения часовой тарифной ставки соответствующего разряда рабочего на коэффициенты, учитывающие увеличение сдельных расценок за работу по технически обоснованным нормам, приработок в связи с перевыполнением норм выработки, премии, дополнительную заработную плату, доплаты, выплаты из фонда материального поощрения и отчисления на соцстрах.

При укрупненных расчетах рекомендуется пользоваться нормативами среднечасовой заработной платы (табл. 3).

3. Нормативы среднечасовой заработной платы (с начислениями) рабочих *

Разряд	Среднечасовая заработная плата (с начислениями), руб.		
	станочников	рабочих нестаночных профессий	
		Сдельщики	Повременщики
1	1,27	1,13	0,73
2	1,38	1,23	0,80
3	1,53	1,36	0,88
4	1,69	1,50	0,98
5	1,91	1,69	1,10
6	2,18	1,93	1,25

* Временная методика определения экономической эффективности металлорежущих станков с ЧПУ. М., ОНТИ ЭНИМС, 1976. 112 с.

При необходимости более точных расчетов среднечасовая заработная плата должна быть рассчитана на основе фактически сложившегося на данном предприятии уровня перечисленных коэффициентов по отношению к прямой сдельной заработной плате по тарифу.

Годовая заработная плата наладчика станка, приходящаяся на один станок, руб.

$$З_н = H_н T_н, \qquad (25)$$

где $T_н$ — время наладки станка в расчете на годовой выпуск деталей; $H_н$ — среднечасовая заработная плата наладчика соответствующего разряда, руб.

Годовая заработная плата настройщика инструмента вне станка, приходящаяся на один станок, руб

$$З_{нас} = \frac{H_н \varphi t_{нас} T_{шт} K_м}{C_и n}, \quad (26)$$

где $H_н$ — среднечасовая заработная плата настройщика инструмента соответствующего разряда, руб.; $\varphi = 1{,}3$ — коэффициент, учитывающий случайную убыль и поломку инструмента; $t_{нас}$ — среднее время настройки по прибору одного инструмента, мин; $K_м$ — коэффициент (в долях единицы), учитывающий удельный вес основного (технологического) времени в штучном времени; $C_и$ — средняя стойкость инструмента, мин; n — среднее количество граней твердосплавной неперетачиваемой пластинки с механическим креплением.

Годовые затраты на износ и содержание управляющих программ

$$З_{уп} = \frac{K_{уп} K_з}{z}, \quad (27)$$

где $K_з = 1{,}1$ — коэффициент, учитывающий замену перфоленты; z — продолжительность выпуска детали, год.

Величину z рекомендуется принимать равной трем-пяти годам, что соответствует средним показателям смены изделий в серийном и мелкосерийном производстве.

Годовые затраты (руб.) на износ и содержание специальных приспособлений

$$З_{пр} = \frac{K_{пр} K_п}{z}, \quad (28)$$

где $K_п = 1{,}3$ — коэффициент, учитывающий затраты на ремонт приспособлений.

Годовые затраты (руб.) на сборку и разборку приспособлений при применении универсально-сборочной оснастки (УСО), руб.

$$З_с = (Ц_{ср} + Ц_{пр} t_{дн}) S_п a_в, \quad (29)$$

где $Ц_{ср}$ — стоимость сборки и разборки одного приспособления, руб.; $Ц_{пр}$ — стоимость проката одного приспособления за один день, руб.; $t_{дн}$ — количество дней проката от момента выдачи в цех собранного приспособления до момента возвращения его в мастерскую УСО. Если время обработки партии деталей не превышает рабочей смены, то $t_{дн} = 2$.

При укрупненных расчетах $Ц_{ср}$ и $Ц_{пр}$ рекомендуется определять по ценнику Министерства машиностроения легкой и пищевой промышленности и бытовых приборов (табл. 4).

Группа сложности универсально-сборного приспособления зависит от количества основных деталей и узлов в нем:

Количество основных деталей и узлов в приспособлении, шт.	До 6	7—12	13—24	25—48	49—96
Группа сложности универсально-сборного приспособления	I	II	III	IV	V

4. Оптовые цены за сборку и разборку универсально-сборных приспособлений и стоимость их проката за один день в зависимости от группы сложности УСП

Группа сложности УСП	Оптовая цена за сборку и разборку приспособления, руб —коп	Стоимость проката в течение одного дня, руб.—коп.
I	2—00	0—04
II	3—90	0—13
III	8—70	0—24
IV	17—45	0—37
V	36—70	1—10

Примечание Уникальные сборки УСП с группой сложности выше V оценивают как сумму приспособлений указанных групп сложности по трудоемкости.

Годовые амортизационные отчисления (руб.) на полное восстановление (реновацию) оборудования

$$З_а = \frac{K_{ст} H_а}{100}, \qquad (30)$$

5. Нормы амортизационных отчислений на полное восстановление металлорежущего оборудования (в процентах от балансовой стоимости) *

Металлорежущее оборудование	Норма на полное восстановление	
	Производство	
	массовое и крупносерийное	серийное, мелкосерийное и единичное
Универсальные и специализированные станки массой до 10 т с инструментом:		
металлическим	6,7	5,3
абразивным	7,1	5,6
Универсальные и специализированные станки массой от 10 до 100 т с инструментом:		
металлическим	5,3	4,0
абразивным	5,6	4,2
Особотяжелые станки массой более 100 т	—	2,9
Агрегатные, специальные станки и автоматические линии	9,1	7,1
Станки для электрофизических и электрохимических методов обработки и комбинированные на их базе	7,1	5,6

* Нормы амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР. М., «Экономика», 1974, 143 с.

где $H_а$ — норма амортизационных отчислений на полное восстановление оборудования, % (принимается по утвержденным нормам амортизации в зависимости от типа и массы оборудования, а также серийности производства, см табл. 5).

Годовые затраты на амортизацию и содержание здания, занимаемого оборудованием, руб.

$$З_{пл} = H_{пл} (S + S_{ус}) \gamma, \quad (31)$$

где $H_{пл}$ — стоимость амортизации и содержания здания цеха в расчете на 1 м² площади, руб. (среднее значение $H_{пл} = 14$ р.). Годовые за-

6. Годовые нормативы затрат на ремонт (включая капитальный) металлорежущих станков (кроме электронных устройств ЧПУ) на единицу ремонтосложности (по данным ЭНИМС)

Продолжительность ремонтного цикла, год	Затраты (руб.) при массе станка, т		
	<10	10—100	>100
5	47,4 / 13,9	65,6 / 16,9	83,3 / 17,7
6	42,7 / 12,2	57,9 / 14,8	72,5 / 15,5
7	39,5 / 11,0	52,4 / 13,3	65,1 / 13,9
8	37,0 / 10,2	48,3 / 12,1	59,4 / 12,6
9	35,0 / 9,5	45,1 / 11,2	55,0 / 11,6
10	33,5 / 8,9	42,6 / 10,5	51,4 / 10,9
11	32,3 / 8,4	40,5 / 9,9	48,5 / 10,3
12	31,2 / 8,0	38,7 / 9,4	46,1 / 9,7
13	30,2 / 7,7	37,2 / 8,9	44,1 / 9,2
14	29,5 / 7,5	35,9 / 8,5	42,3 / 8,9
15	28,8 / 7,3	34,9 / 8,3	40,7 / 8,6

Примечания. 1. Нормативы составлены для станков нормальной точности. Для станков более высокого класса точности при меняют поправочный коэффициент μ в зависимости от класса: для П — 1,2, для В — 1,5; для А — 1,8; для С — 2,2

2. В числителе указаны затраты на ремонт механической части станка, в знаменателе — на ремонт электрической части

траты (руб.) на ремонт (включая капитальный) и техническое обслуживание оборудования

$$З_р = (H_р R_м + H'_р R_э)\,\mu, \qquad (32)$$

где $H_р$ и $H'_р$ — соответственно нормативы затрат на единицу ремонтосложности механической и электрической частей, руб. (табл. 6); $R_м$ и $R_э$ — соответственно категория сложности ремонта механической и электрической частей;

μ — коэффициент, учитывающий класс точности станка.

Годовые затраты (руб.) на техническое обслуживание и ремонт устройств ЧПУ (при эксплуатации в две смены) определяют по разработанным ЭНИМСом укрупненным нормативам:

ПРС-3К, К4МИ, К3МИ	259
С-68, С-70/2, С 70/3	389
К3П, К2П, К2ПТ	466
У22-1, УМС, У-331, Н221М, Н33 1М, ЭМ907, Н33 2М	571
П323, Р 69, «Размер 2М»	648
Н55-1, Н55-2	778

Нормативы даны с учетом работы в две смены и стоимости материалов в размере 20% от заработной платы.

Затраты на электроэнергию по сравниваемым вариантам следует рассчитывать в тех случаях, когда происходит коренное изменение способа обработки детали на новом оборудовании (переход на другие виды обработки, изменение действующей технологии).

При сохранении метода обработки на сравниваемых вариантах, отличающихся между собой различной установленной мощностью электродвигателей, расход электроэнергии будет примерно одинаков, так как расчеты ведут для равного объема производства деталей.

Затраты на инструментальную оснастку (режущий и вспомогательный инструмент) следует подсчитывать при изменении технологического процесса (например, замена операций протягивания отверстий расточкой и т. д.).

При этом необходимо учитывать следующее: удорожание инструментальной оснастки для станков с ЧПУ в связи с повышенными требованиями, предъявляемыми к ней, и в связи с мелкосерийным характером производства; возможность эффективного использования на станках с ЧПУ новых инструментальных материалов, позволяющих работать с высокими скоростями, которых нельзя достичь при работе на универсальных станках.

Кроме перечисленных статей себестоимости механической обработки, в расчетах эффективности станков с ЧПУ могут быть учтены и другие статьи (экономия затрат на межоперационный транспорт, уменьшение потерь от брака, сокращение пригоночных работ на узловой сборке и т. д.). По этим статьям затраты следует определять специальными расчетами применительно к типу станка и конкретным условиям производства.

Пример расчета экономии от сокращения дополнительных операций на узловой сборке при переводе обработки корпусных деталей на расточной станок с ЧПУ

Корпусные детали, обрабатываемые на универсальном расточном станке, имели отклонения по точности, требуемой по чертежам, в связи с чем на

узловой сборке производились дополнительные слесарно-пригоночные и шабровочные работы.

Новый расточный станок с ЧПУ обеспечивает бо́льшую точность изготовления деталей, что позволяет значительно уменьшить трудоемкость этих дополнительных работ.

Данные о дополнительных операциях на узловой сборке по пяти деталям-представителям приведены в табл. 7

7. Заработная плата рабочих (руб.) за дополнительные операции на узловой сборке

№ детали — корпуса	Дополнительные операции	Заработная плата при использовании станка	
		универсального	с ЧПУ
1	Пригонка по шаблону четырех отверстий М10	0,20	—
2	Притирка двух отверстий ⌀ 80 — 0,01 мм	1,10	0,55
3	Шабрение двух платиков	1,10	—
	Шабрение двух платиков	1,10	—
4	Притирка двух отверстий ⌀ 80 — 0,01 мм	1,10	0,55
5	Разметка, сверление и нарезание резьбы М6 в 12 отверстиях	0,72	—
	Итого по пяти деталям	5,32	1,10

Благодаря более точной обработке на станке с ЧПУ деталей № 2 и 4 объем последующей притирки сокращается в 2 раза, по другим деталям дополнительные операции исключаются полностью. Экономия заработной платы в среднем на одну деталь составляет $\frac{(5,32-1,10)}{5} = 0,84$ р., а с учетом цеховых накладных расходов в 110% стоимость устраняемых операций на одну деталь составит 1 р. 76 к.

При обработке на станке с ЧПУ деталей в количестве 1400 шт. в течение года годовая экономия по данной статье достигла 2464 р. (1,76·1400).

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Специальным станком называется станок, предназначенный для механической обработки конкретной детали в условиях крупносерийного или массового производства.

Специализированным станком является переоборудованный универсальный металлорежущий станок, на котором путем использования дополнительной технологической оснастки обеспечивается обработка заданной детали или группы деталей, сходных с ней по конфигурации и точности обработки.

Специализированный станок является продукционным (приспособленный универсальный) для условий среднего и крупносерийного про-

изводства. Производительность при обработке на этом станке конкретной детали выше производительности универсального оборудования.

При оценке экономической эффективности использования специальных и специализированных станков применяют приведенные далее положения.

1. Общее и обязательное условие для расчетов экономической эффективности — правильный подбор пары станков, из которых один — аналог (находящаяся в эксплуатации освоенная модель), с которым ведется сравнение, а другой — новый станок, проектируемый или изготовленный и предназначенный для замены аналога. Объект исследования и оценки — сравнительные экономические результаты, достигаемые при эксплуатации соответственно нового станка и аналога, при одинаковом объеме производства, т. е. при одинаковом количестве обрабатываемых деталей за год, с обусловленным, фиксированным количеством деталей.

Как правило, новая модель станка должна быть более прогрессивной, должна обладать более высокими производительностью, надежностью, безотказностью в работе, точностью. Применение сравнительных экономических показателей эксплуатации служит для оценки эффективности применения нового станка. В результате расчетов должны быть установлены величины годового экономического эффекта, который дает проводимая замена, и определены сроки окупаемости дополнительных единовременных (капитальных) затрат.

2. Оценка экономической выгодности применения нового станка взамен аналога проходит несколько этапов.

Рекомендуются приведенные далее этапы оценки экономической выгодности и преимуществ новых моделей станков.

1. Сравнивают производительность нового оборудования с производительностью аналога путем сопоставления нормированных штучных времен, необходимых для механической обработки деталей на новом оборудовании и на станке-аналоге. При исследовании применяют паспортные данные оборудования, действующие в отрасли нормативы затрат времени на механическую обработку и тарифные ставки оплаты рабочих-сдельщиков. В обоих случаях следует применять расчетные нормы выработки одинаковой интенсивности труда при прогрессивных режимах. Например, если деталь на новом станке требует для обработки нормированного (расчетного) времени 10 мин, а на аналоге соответственно обрабатывается за 12 мин, то сравнительный рост производительности по штучному времени составит 20%.

2. Выявляют прямую стоимостную экономию путем сравнения затрат по прямым элементам штучной себестоимости обработки одной детали или годового объема деталей на специальном или специализированном станке и тех же затрат при обработке одной детали или годового объема на станке-аналоге.

Сопоставление и сравнительная оценка, т. е. выявление стоимостной экономии или перерасхода, производится по элементам (по технологической себестоимости, которая включает только прямые затраты). Сумма прямых эксплуатационных издержек образует штучную себестоимость, т. е. затраты, приходящиеся на одну штуку, для каждого из вариантов обработки на соответствующем станке.

Штучная технологическая себестоимость механической обработки включает следующие прямые затраты: на сырье, материалы, полуфабрикаты; заработную плату производственных рабочих, дополни-

тельную заработную плату; начисления на заработную плату; потери от брака.

Примечание. При неизменных материальных затратах в обоих вариантах последние в расчет не принимают.

В результате расчета устанавливают и сравнивают штучную технологическую себестоимость обработки как на станке-аналоге, так и на новом станке, определяют экономию в целом и по элементам.

Более полное представление об экономичности применения нового станка взамен станка-аналога дает самостоятельное сравнение по более широкому кругу эксплуатационных издержек и оценка вытекающих из этого сравнения выводов по результатам годовой работы.

Расчет годовых затрат ведут для объема работы, необходимого при обработке запланированного количества деталей на новом станке, в соответствии с проектом или путем расчета пропускной способности нового оборудования при двухсменной работе.

Применительно к этому фиксированному количеству деталей (штук) рассчитывают требуемое количество обычных станков-аналогов, у которых пропускная способность та же, что у единицы нового оборудования. Расчет ведут по формуле

$$N_{ст} = \frac{t_{шт} П_г}{Ф \cdot 60},$$

где $N_{ст}$ — искомое количество единиц станков-аналогов; $t_{шт}$ — расчетное штучное время обработки одной детали, мин; $П_г$ — годовой объем выпуска деталей, шт.; $Ф$ — действительный годовой фонд времени при двухсменной работе (с учетом коэффициента использования станка), ч.

Этим расчетом определяют количество единиц оборудования, производительность которого обеспечивает объем работ, выполняемый на новом специальном или специализированном станке с более высокой производительностью. Примерно это количество будет во столько раз больше единицы оборудования, во сколько снижается штучное время механической обработки на новом оборудовании.

После расчета эквивалентного количества станков-аналогов рассчитывают единовременные (капитальные) и текущие эксплуатационные затраты на годовой объем работы, а затем путем сравнения переходят к оценке и выводам об эффективности нового процесса, выполняемого на новом оборудовании.

Перед расчетом эффективности подготовляют исходные данные (табл. 8).

Единовременные (капитальные) затраты $К$ состоят из стоимости металлорежущих станков, стоимости, применяемой при обработке технологической оснастки, а также стоимости производственных площадей, занимаемых сравниваемым оборудованием.

Указанные единовременные (капитальные) затраты являются частью производственных фондов предприятия и должны обеспечить получение предприятием прибыли не ниже принятого норматива.

Введенный в расчеты коэффициент экономической эффективности $E_н = 0{,}15$ означает, что средняя норма прибыли, которая должна быть получена с одного рубля единовременных капитальных вложений, принимается равной 15 к./год.

Эксплуатационные издержки также занимают важное место в расчете экономической эффективности, которая создается путем текущей

8. **Исходные данные для расчета эффективности нового оборудования**

Затраты	Оборудование-аналог			Новое оборудование		Разность между затратами по аналогу и по новому оборудованию, руб.
	Расчет затрат	в рублях		Расчет затрат	в рублях	
		без учета коэффициента приведения	с учетом коэффициента приведения			
Единовременные (капитальные) затраты.						
на оборудование (станки)						
на специальные приспособления (технологическая оснастка)						
на производственную площадь, занятую оборудованием						
Итого . . .						
Эксплуатационные издержки (себестоимость годового объема обработки запроектированного количества деталей):						
заработная плата производственных рабочих						
дополнительная заработная плата						
начисления на соцстрахование						
силовая электроэнергия						
все виды ремонта, включая межремонтное обслуживание						
амортизационные отчисления на полное восстановление оборудования						
амортизация и содержание производственной площади						
Итого . . .						

9. **Исходные данные для расчета экономической эффективности специального или специализированного станка**

Показатель	Оборудование	
	заменяемое	новое
Программа выпуска (часовая), шт.	30	30
Штучная трудоемкость, мин	6	2
Расчетный коэффициент загрузки станка	0,8	0,8
Класс точности оборудования	Н	Н

Продолжение табл. 9

Показатель	Оборудование	
	заменяемое	новое
Количество занятых станков (эквивалент)	3	1
Мощность электродвигателей станков, кВт	8,4	21,6
Коэффициент сменности работы, принятый в расчет	2	2
Численность занятого персонала:		
рабочих-станочников 3-го разряда	6	2
наладчиков 5-го разряда	0,4	0,2
Затраты на заработную плату станочника, приходящиеся на год работы станка, руб.:		
рабочих-станочников 3-го разряда	3072	3 072
рабочих-наладчиков 5-го разряда	3835	3 835
Категория сложности ремонта (по системе ППР), ЕРС (единица ремонтной сложности):		
механической части станка	11,0	22,5
электрической »	12,0	14,5
Норма амортизационных отчислений на полное восстановление оборудования, %	6,7	6,7
Плановый срок службы технологической оснастки, год	4	4
Норматив годовых затрат на одну единицу ремонтной сложности (все виды ремонта), руб.:		
механической части	27,4	27,4
электрической »	6,6	6,6
Норматив годовых затрат на содержание и амортизацию производственной площади, руб.	14,0	14,0
Норматив годовых затрат на 1 кВт установленной мощности, руб.	19,0	19,0
Единовременные (капитальные) затраты:		
оптовая цена единицы оборудования, руб	2960	42 700
расходы по монтажу, % к цене	10	10
стоимость технологической оснастки, приходящейся на единицу оборудования, руб.	2300	—
производственная площадь, занятая оборудованием, м²	23,7	36,0
стоимость 1 м² площади, руб.	140	140
Нормативный коэффициент экономической эффективности	0,15	0,15

10. Расчет единовременных (капитальных) затрат

Показатель	Заменяемое оборудование для равного объема работы	Новая техника
Количество металлорежущих станков, шт.	3	1
Стоимость в оптовых ценах, руб.	2 960·3 = 8 880	42 700
Балансовая стоимость (после монтажа), руб.	8 880·1,1 = 9 768	42 700·1,1 = 46 970
Стоимость технологической оснастки, руб	2 300·3 = 6 900	—
Производственная площадь, занимаемая оборудованием, м²	23,7	36,0
Стоимость площади под оборудованием, руб.	23,7·140 = 3 318	36,0·140 = 5 040
Итого затрат на заменяемое оборудование, руб	9 768+6 900 + + 3 318 = 19 986	46 970 + 5 040 = = 52 010

11. Расчет затрат на заработную плату

Показатель	Оборудование	
	заменяемое	новое
Численность занятых рабочих:		
станочников 3-го разряда	6	3
наладчиков 5-го разряда	0,4	0,2
Годовая заработная плата, включая начисления, руб.:		
станочников	3 072·6 = 18 432	3072·2 = 6144
наладчиков	3 835·0,4 = 1 534	3835·0,2 = 766
Итого зарплаты, руб.	19 966	6910

12. Расчет затрат на амортизацию

Показатель	Заменяемое *оборудование-аналог*	*Новая техника*
Балансовая стоимость оборудования (включая 10% затрат на монтаж), руб.	9768	46 970
Норма амортизационных отчислений на полное восстановление металлорежущих станков, %	6,7	6,7
Амортизационные отчисления на полное восстановление металлорежущих станков, руб.	9768·0,067 ≈ 654	46 970·0,067 = = 3 147
Затраты на технологическую оснастку, руб.	6900	—
Плановый срок списания оснастки, год	4	—

Продолжение табл 12

Показатель	Заменяемое оборудование-аналог	Новая техника
Годовое списание оснастки, руб	6900/4 = 1725	—
Производственная площадь, занятая оборудованием, м²	23,7	36,0
Норматив годовых затрат на содержание и амортизацию производственной площади, руб	14	14
Годовые затраты на содержание и амортизацию производственной площади, руб	23,7·14 = 332	36,0·14 = 504

13. Расчет затрат на все виды ремонта и обслуживания

Показатель	Заменяемое оборудование-аналог	Новая техника
Количество металлорежущих станков	3	1
Количество единиц ремонтосложности ЕРС:		
механической части	11,0	22,2
электрической »	12,0	14,5
Норматив годовых затрат на единицу ремонтосложности (на все виды ремонта и обслуживания), руб.:		
механической части	27,4	27,4
электрической »	6,6	6,6
Годовые затраты на все виды ремонта и обслуживания, руб.:		
механической части	11,0·27,4·3 = 904	22,2·27,4 = 608
электрической части	12,0·6,6·3 = 238	14,5·6,6 = 96
Итого годовых затрат, руб.	1142	704

14. Расчет затрат на силовую электроэнергию

Показатель	Заменяемое оборудование-аналог	Новая техника
Количество металлорежущих станков	3	1
Суммарная мощность электродвигателей, кВт:		
единицы оборудования	2,8	21,6
всех станков	8,4	21,6
Нормативы годовых затрат на 1 кВт мощности, руб.	19,0	
Годовые затраты на электроэнергию, руб	8,4·19,0 = 160	21,6·19,0 = 410

15. Сводные расчеты прямых эксплуатационных издержек при годовом использовании новой и заменяемой техники

Показатель	Заменяемое оборудование-аналог	Новая техника
Заработная плата производственного персонала (включая отчисления на соцстрахование) при равном объеме работы, руб	19 966	6 910
Амортизационные отчисления на полное восстановление оборудования, руб	654	3 147
Износ технологической оснастки, руб.	1 725	—
Амортизационные отчисления на содержание зданий (производственной площади), руб	332	504
Затраты на все виды ремонта и межремонтного обслуживания, руб	1 142	704
Затраты на энергию, руб	160	410
Итого полных эксплуатационных затрат, руб	23 979	11 675

16. Расчет экономической эффективности

Показатель	Заменяемое оборудование	Новая техника
Единовременные (капитальные) затраты, руб:		
на оборудование	9 768	46 970
на технологическую оснастку	6 900	—
на производственную площадь	3 318	4 500
Итого . . .	19 986	51 470
Годовые эксплуатационные затраты на объем продукции, производимой новой техникой	23 979	11 675
Нормативный коэффициент экономической эффективности $E_н$	0,15	0,15
Приведенные затраты по каждому виду техники $(C + E_н K)$, руб	23 979 + + 0,15·19 986 = = 26 976	11 675 + + 0,15·51 470 = = 19 395
Разность приведенных затрат, экономическая эффективность $(C_1 + E_н K_1) - (C_2 + E_н K_2)$, руб	26 976 — 19 395 = 7 591	
Срок окупаемости дополнительных единовременных (капитальных) затрат $\frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2}$, год	$\frac{51\,470 - 19\,986}{23\,979 - 11\,675} \approx 2{,}1$	

экономии в себестоимости, полученной предприятием при работе на новом более производительном оборудовании в течение года. Величина экономии выявляется при сопоставлении текущих эксплуатационных затрат при одинаковом годовом объеме, выполняемом на заменяемом оборудовании и на новом металлорежущем станке

Текущие эксплуатационные расходы, которые несет предприятие, вместе с приходящимися на его долю капиталовложениями образуют приведенные затраты $(C + E_н K)$.

Заключительный этап расчета экономической эффективности, который оценивает годовой экономический эффект от внедрения нового оборудования или определяет срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, выполняют на основании предыдущих исходных расчетных показателей (табл. 9).

После расчета эксплуатационных затрат рассчитывают единовременные (капитальные) затраты, необходимые для финансирования изготовления новой техники, сопоставляя их эквивалентно со стоимостью заменяемого оборудования (табл. 10, 11)

В состав эксплуатационных расходов включают затраты по амортизационным отчислениям (табл. 12), на полное восстановление станочного оборудования, текущие расходы и амортизационные отчисления по содержанию занимаемой оборудованием производственной площади.

В эксплуатационных расходах важное место занимают затраты на все виды ремонта станочного оборудования. Основой расчета этих затрат является действующая система планово-предупредительного ремонта (ППР). Пользуясь положениями этой системы, выполняют расчет затрат на все виды ремонта и обслуживания (табл 13).

Силовая электроэнергия и затраты на ее потребление (табл 14) относятся к прямым эксплуатационным расходам, которые зависят от мощности установленных на оборудовании двигателей, времени их работы и принятого норматива затрат на 1 кВт установленной мощности.

После подсчета отдельных элементов прямых затрат путем суммирования подсчитывают технологическую себестоимость (таблица 15).

Условно-годовая экономия равна 23 979 — 11 675 = 12 304 р.

Заключительный этап расчетов и определение экономической эффективности выполнен по приведенной далее форме (табл 16).

Выводы. 1. Новая техника, представленная специальным станком и заменяющая предшествующие ей аналоги, как показали расчеты, эффективна, экономически себя оправдывает и целесообразна

2. Благодаря техническим преимуществам нового станка, его надежности и безотказности достигается значительный рост производительности труда, что обеспечивает достижение экономических результатов: условно-годовая экономия на издержках производства — 12 304 р.; годовой экономический эффект, как разность приведенных затрат, — 7 437 р.

3. Дополнительные единовременные (капитальные) вложения 31 484 р. окупаются за 2,1 года, что значительно меньше нормативного срока окупаемости, составляющего 5—6 лет.

4. Коэффициент экономической эффективности достиг 0,4 при нормативе 0,15.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Временная** методика определения экономической эффективности металлорежущих станков с ЧПУ М , ОНТИ, ЭНИМС, 1976 112 с.

2 **Говсиевич Р. Е.** Определение экономической эффективности станков с числовым программным управлением М , НИИМАШ, 1974, 58 с

3 **Говсиевич Р. Е.** Упрощенная оценка экономической эффективности внедрения станков с ЧПУ — «Вестник машиностроения», 1976, № 1, с. 83—85

4 **Житная И. П., Житный Е. П.** Эффективность применения станков с числовым программным управлением Киев, «Техника», 1976, 92 с

5 **Методика** (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений — «Экономическая газета», 1977, № 10, с 11—14

6 **Методические** материалы по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции на предприятиях машиностроения и металлообработки М , Прейскурантиздат, 1975, 220 с

7 **Методические** указания по определению экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в станкостроительной и инструментальной промышленности М , НИИМАШ, 1977, 80 с

8 **Расчет** экономической эффективности от внедрения специальных станков, станков с ЧПУ и участков из станков с ЧПУ. Руководящие материалы М , НИИМАШ, 1975, 75 с

9 **Расчеты** экономической эффективности новой техники Справочник Под ред К М Великанова Л , «Машиностроение», 1975 430 с

10 **Экономическая** эффективность станков с числовым программным управлением Под ред П С Мирошникова Киев «Наукова думка», 1976. 174 с

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Глава 3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Автоматизированные системы управления (АСУ) — человеко-машинные системы с элементами оптимизации на основе автоматической обработки данных на базе специального комплекса экономических и организационных форм, экономико-математических методов и моделей, электронной вычислительной техники с сопутствующими оборудованием и программно-математическим обеспечением. Они предназначены для управления ячейками народного хозяйства (предприятиями, производственными объединениями, отраслями и др.). Благодаря АСУ можно коренным образом изменить технологию выполнения информационных процессов в управлении, сведя тем самым до минимума участие человека в подготовке отчетной информации. АСУ позволяет своевременно решать сложные задачи анализа, прогнозирования, оптимизации планирования и организации народного хозяйства. Основа этих систем — электронно-вычислительные машины (ЭВМ).

АСУ характеризуется качественно новой организацией информационных процессов, интеграцией всей системы информации, автоматическим планированием решения задач, органическим единством средств, методов и организации решения задач управления.

Преимущества АСУ перед другими формами организации обработки данных в системах управления проявляются только при выполнении автоматической организации и диспетчеризации решения задач и реализации информационных процессов в АСУ.

В народном хозяйстве широко внедряют автоматизированные системы управления предприятием (АСУП).

Системы управления — принципиально новые формы управления, основанные на строгой упорядоченности выполнения множества функций управления. Сложность управления предприятиями обусловлена многими причинами: большим количеством элементов системы (оборудование, рабочие, технологические операции), высокой степенью их взаимосвязанности и т. д.

Информационная модель предприятия с помощью программного аппарата математического обеспечения АСУП позволяет получать различные систематизированные данные обо всех этапах производственно-хозяйственной деятельности. Информационная модель постав-

ляет также исходные данные при решении задач экономического прогнозирования и планирования.

В АСУП выделяют функциональные и обеспечивающие подсистемы.

Функциональные подсистемы АСУП непосредственно выполняют функции управления производственно-хозяйственной деятельностью.

Технико-экономическое планирование заключается в создании условий для повышения эффективности производства: в разработке основных методических положений по совершенствованию технико-экономического планирования на заводе в условиях новой системы планирования и экономического стимулирования и создании на заводе АСУ; осуществлении непрерывности планирования путем органической увязки перспективных и текущих годовых планов; взаимоувязке технико-экономических показателей для структурных подразделений завода с соответствующими показателями планов завода в целом; централизации и автоматизации расчетов по технико-экономическому планированию.

Оперативно-производственное планирование включает в себя: совершенствование производственной структуры, специализацию цехов и участков и упрощение производственных связей между ними как основы улучшения методов планирования производства; упрощение кооперации между цехами; повышение серийности работы в цехах путем перераспределения и концентрации изготовления однотипных деталей, создания на этой основе предметно-замкнутых участков и поточных линий; перераспределение номенклатуры закрепленных за цехами деталей в целях сокращения излишних грузопотоков и уменьшения их грузонапряженности; создание системы научно обоснованных календарных нормативов как базы расчетного построения календарных планов производства, графиков режима работы линий (в первую очередь это относится к таким нормативам, как нормы заделов, такты и режимы поточных линий, длительность производственного цикла, графики режима работы и графики переналадок поточных линий, величина партий и периодичность их запуска и т. д.).

Оперативный контроль и анализ производственно-хозяйственной деятельности — это анализ выпуска продукции (с указанием причин невыполнения плана); расчет выполнения выпуска товарной продукции по номенклатуре (с указанием причин отклонений); анализ ритмичности производства и комплектности выпускаемых изделий, использования фонда и потерь рабочего времени, выполнения плана по фонду заработной платы и по производительности труда; расчет показателей динамики средней заработной платы и производительности труда промышленно-производственных рабочих; анализ себестоимости выпуска единицы изделий по калькуляционным статьям затрат, выполнения плана реализации продукции, использования оборотных средств, оборачиваемости оборотных средств, использования основных средств, изменения состава и использования основных средств, затрат по сметам цеховых и общезаводских расходов.

Конструкторская подготовка производства заключается в планировании конструкторской подготовки производства (применение сетевых и других методов); оперативно-календарном планировании выпуска чертежно-технической документации; расчете экономической эффективности конструкции изделия (экономическое обоснование); разработке единого справочника конструктора по существующим ГОСТам, нормалям и техническим условиям; классификации, стандарти-

зации, нормализации и унификации деталей изделий; определении уровня стандартизации выпускаемых изделий; проектировании и конструировании новых изделий; создании единого архива чертежно-технической документации с автоматическим поиском документов.

Технологическая подготовка производства включает в себя: планирование технологической подготовки производства изделий (с применением сетевых и других методов); составление карт технологической подготовки производства деталей, узлов, перспективных планов разработки прогрессивных технологических процессов; внедрение системы единой технологической документации; механизацию разработки технологических процессов изготовления основной продукции; расчет экономической эффективности разработанного технологического процесса; механизацию разработки маршрутной технологии на изделия, узлы и детали с выдачей маршрутно-операционных карт, ведомости закрепления деталей и узлов за цехами-изготовителями и комплектовочных карт; проектирование технологической оснастки с выдачей чертежно-технической документации и спецификации; составление перечней приспособлений, пресс-форм, штампов, инструмента, необходимых для производства изделия; расчет параметров оригинального инструмента; составление спецификаций на инструмент, оснастку, нестандартное оборудование, комплектующие изделия; механизацию разработки технологических процессов изготовления оснастки; расчет экономической эффективности разработанного технологического процесса изготовления оснастки.

Нормирование ресурсов направлено на совершенствование работ по механизации и автоматизации расчетов норм затрат труда, средств и предметов труда, движения производства. К числу этих работ относятся расчеты норм и нормативов: затрат труда (трудоемкость, обслуживание, оплата труда, сменность, фонд времени рабочих, выработка, потери, фондоотдача); средств труда (расход инструмента, технологической оснастки, энергетических ресурсов, использование производственной площади, плата за основные фонды, осмотр и ремонт, амортизация, фонды времени работы, фондоотдача, сроки службы); предметов труда (расход основных и вспомогательных материалов, комплектующих изделий и покупных полуфабрикатов, складских запасов, периодичность поставок). Обеспечение производства материальными ресурсами заключается в расчете потребности в материалах, комплектующих изделиях и инструменте на годовую и квартальную программы, потребности в материалах для выпуска продукции основного и вспомогательного производства, для ремонта оборудования, потребности в инструменте; расчете оптимальных размеров запасов материалов на складах и т. д.; лимитировании отпуска материалов, комплектующих изделий цехам с выдачей лимитных карт; лимитировании отпуска инструмента цехам завода; составлении материальных балансов и т. д.

Финансовое обеспечение включает в себя: расчеты с бюджетом, расчеты по налогу с оборота за декаду, месяц; составление кассового плана; сметно-финансовые расчеты для обоснования полученных ссуд из банка на внедрение организационно-технических мероприятий и т. д.

Инструментальное обслуживание предусматривают для планирования планово-предупредительного ремонта и обслуживания технологической оснастки; обеспечения рабочих мест высокопроизводительным и прогрессивным инструментарием; организации рациональных форм

выдачи инструментов цехам завода; хранения переходящих запасов инструментов на складах; технического надзора за эксплуатацией всех видов инструментов.

Ремонтное обслуживание производства заключается в планировании всех видов ремонта оборудования по всем подразделениям предприятия, организации технической подготовки оборудования и приемки его из ремонта; выполнении технологических и конструкторских работ, связанных с ремонтом и модернизацией.

Бухгалтерский учет — это составление сводной ведомости по начислению заработной платы рабочим и служащим по видам оплат и категориям работающих; аналитический и систематический учет заработной платы рабочих и служащих завода, хозяйственного инвентаря на складе и в эксплуатации, поступления, убытия и перемещения оборудования, основных средств, аналитический и систематический учет затрат по капитальному ремонту; учет касс, дебиторов и кредиторов, целевое финансирование; ведение расчетного счета в Государственном банке и счета развития производства и т. д.

Обеспечивающие подсистемы АСУП выполняют собственно информационные процессы и обеспечивают их подготовку и организацию. Чаще всего выделяют подсистемы математического, программного, информационного и организационного обеспечения.

В математическое обеспечение входят модели, методы и алгоритмы, их обоснование.

Программное обеспечение — это комплекс программ и инструкций к ним для решения задач на ЭВМ. Программное обеспечение разделяют на специальное и общее. Специальное обеспечение направлено на получение документов и сведений производственно-хозяйственного значения. Общее обеспечение включает в себя программы, предназначенные для преобразования данных (сортировка, группировка, слияние) независимо от их содержания. Чем выше уровень общего программного обеспечения, тем быстрее и легче строится специальное программное обеспечение.

Техническое обеспечение включает в себя технику автоматизации и механизации выполнения информационных процессов в АСУ, а также инструкции по эксплуатации АСУ и обеспечению надежного функционирования

Информационное обеспечение регламентирует потоки и подготовку информации в АСУП, организацию выполнения информационных процессов в информационном вычислительном центре (ИВЦ).

Организационное обеспечение регламентирует действие каждого работника управления, каждого рабочего по отношению к системе информации и всей схеме принятия решения в АСУП.

Наиболее полно все перечисленные элементы АСУП представлены, например, в системе «Львов», разработанной и внедренной на Львовском телевизионном заводе ПТО «Электрон» (рис. 1). Вся информация накапливается в запоминающих устройствах электронных вычислительных машин и используется для подготовки справочных и отчетных документов и для решения различных задач.

Система «Львов» может решать следующие задачи: управления производством, планирования материально-технического обеспечения производства, технико-экономического планирования и учета. Система решает также задачи контроля работы и простоев основного оборудования, что позволяет организовать действительный учет загрузки и ис-

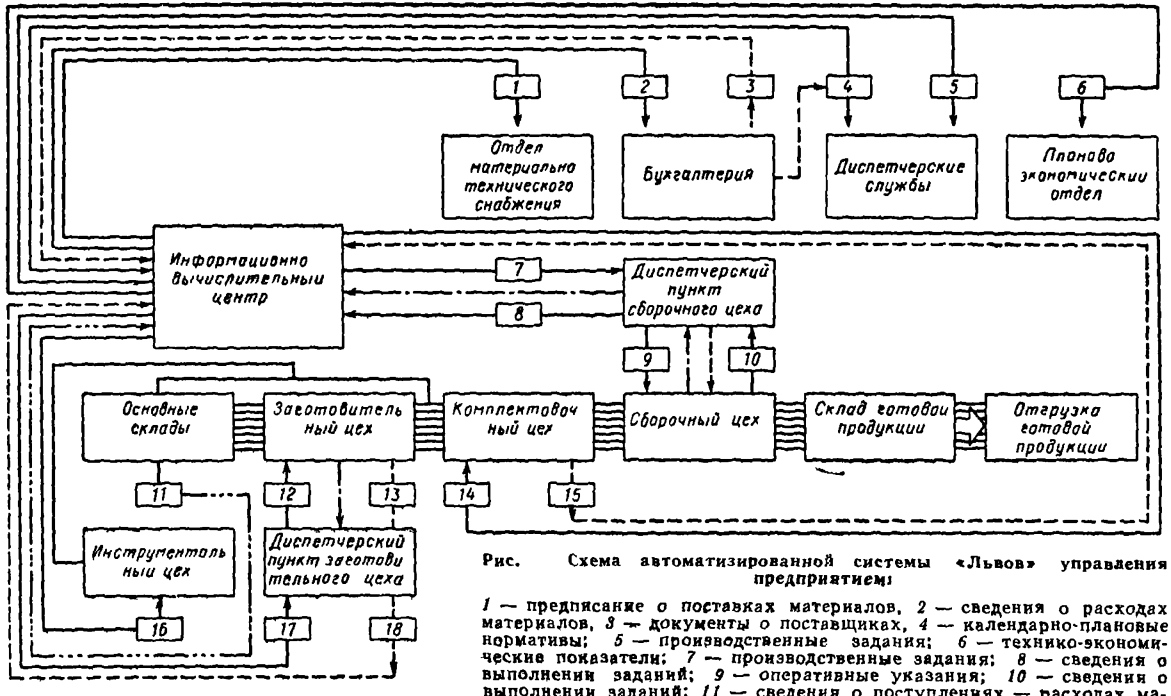


Рис. Схема автоматизированной системы «Львов» управления предприятием:

1 — предписание о поставках материалов, *2* — сведения о расходах материалов, *3* — документы о поставщиках, *4* — календарно-плановые нормативы; *5* — производственные задания; *6* — технико-экономические показатели; *7* — производственные задания; *8* — сведения о выполнении заданий; *9* — оперативные указания; *10* — сведения о выполнении заданий; *11* — сведения о поступлениях — расходах материалов, *12* — сменное задание; *13* — сведения о выполнении заданий, *14* — предписания по комплектации; *15* — сведения о поступлениях—расходах комплектующих деталей; *16* — производственные задания, *17* — результаты выполнения заданий, *18* — сведения о выполнении заданий, ——·—— информация от датчиков, установленных на оборудовании, ——··—— в виде перфолент, ———— в виде документов; — — — — по телетайпу

пользования оборудования по всему заводу и особенно на наиболее ответственных участках производства.

Внедрение системы «Львов» привело к значительному росту эффективности управления предприятием, производственно-хозяйственной деятельности в целом, обеспечило дополнительное увеличение выпуска продукции на 7%, снизило уровень запасов на 20%, ускорило оборачиваемость оборотных средств на 10%, позволило сократить инженерно-технический и административно-управленческий персонал. Экономическая эффективность системы составляет 500 тыс. руб. экономии в год, срок окупаемости ее один год.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Выбор наиболее прогрессивного технологического процесса и автоматизация его с помощью высокопроизводительного оборудования являются не только технической, но и важнейшей экономической задачей.

Под операцией понимают любое мероприятие (или систему мероприятий), объединенное единым замыслом (например система мероприятий, направленная на повышение надежности технического устройства); размещение заказов на производство оборудования; систему перевозок, обеспечивающую снабжение ряда технологических операций заготовками, и т д.

Операция — управляемое мероприятие.

Всякий определенный выбор зависящих параметров процесса называют решением. Оптимальными называют решения, которые предпочтительнее других. Цель исследования операций — увеличение эффективности от принимаемых решений

Чтобы судить об эффективности операции и сравнивать между собой по эффективности различные решения, нужно пользоваться некоторым численным критерием оценки, или показателем эффективности

Во многих случаях операции выполняются в условиях, содержащих элемент случайности, поэтому исход операции не может быть предсказан точно. В качестве показателя эффективности выбирают ее среднее значение (математическое ожидание).

Основные этапы операционного исследования: постановка задачи; построение математической модели изучаемой системы; нахождение решений с помощью математической модели; проверка математической модели и полученного с ее помощью решения; осуществление решения.

Постановка задачи. При формулировании задачи с точки зрения достижения максимальной эффективности должен быть проведен анализ системы для выявления возможных вариантов действия (управления). На этом этапе исследования операций должен быть установлен некоторый критерий эффективности и определена его пригодность для достижения поставленной цели.

Построение математической модели изучаемой системы. Математическая модель выражает эффективность исследуемой системы как функцию множества переменных, из которых по крайней мере одно поддается управлению. Операционная модель в общем виде может быть представлена уравнением $Э = f(x_i, y_i)$, где $Э$ — критерий эффектив-

ности системы; x_i — управляемые переменные; y_i — неуправляемые переменные.

Ограничения, наложенные на переменные, могут быть выражены в дополнительной системе равенств или неравенств.

Нахождение решения с помощью математической модели. Существуют два метода получения оптимального решения с помощью модели: аналитический и численный. Аналитический сводится к применению математической дедукции, что требует использования математического анализа и матричной алгебры. Аналитические решения получают в абстрактном виде, т. е. подстановку чисел вместо символов обычно производят после того, как получено решение.

Проверка математической модели и полученного с ее помощью решения. Математическая модель лишь частично отражает действительность. Модель считается хорошей, если она может точно предсказывать влияние изменений в системе на общую эффективность ее. Адекватность модели может быть проверена путем определения степени точности предсказания влияния этих изменений. Решение может быть оценено путем сопоставления результатов, полученных без использования данного решения, и результатов, полученных при его применении.

Осуществление решения. Проверенное решение должно быть представлено в виде ряда рабочих процедур, которые могут быть легко поняты и применены исполнителями. При этом должны быть определены и соблюдены необходимые изменения в существующих процедурах и ресурсах.

Методы и средства исследования могут быть кратко охарактеризованы следующим образом.

Процессы создания и хранения запасов — такие процессы, которые требуют решений двух вопросов: сколько и когда заказывать (производить или покупать). Эти решения требуют регулирования запасов, что связано с затратами по заказу или переоборудованию: из-за дефицита или задержки; вследствие изменения уровня производства или закупок. Для решения этих задач используют методы математического программирования.

Процессы распределения возникают тогда, когда существуют различные способы распределения; нет ресурсов или средств, обеспечивающих выполнение каждой из операций наиболее эффективным образом. Задача в таком случае заключается в соединении операций и ресурсов таким образом, чтобы можно было добиться максимального общего эффекта. При решении задач распределения пользуются различными видами математического программирования.

Процессы обслуживания необходимы в связи с наличием заказа, требующего обслуживания. Так как ожидание связано с расходами, задача заключается в том, чтобы регулировать появление заказов или определять объем и организацию обслуживания так, чтобы свести к минимуму время ожидания и связанные с ним расходы. К задачам по определению объема обслуживания и времени появления заказов применима теория очередей, к задачам по определению порядка обслуживания заказов — теория расписаний.

Процессы замены делят на два основных класса в зависимости от вида износа оборудования: либо это замена устаревшего и ставшего несовременным (менее эффективным) оборудования в результате длительного срока службы или появления нового оборудования, либо замена полностью вышедшего из строя оборудования.

Для устаревших видов оборудования задача заключается в установлении времени замены, с тем чтобы сократить расходы на новое оборудование, на ремонт и эксплуатацию старого или расходы, связанные со снижением производительности оборудования. Для оборудования, которое полностью выходит из строя, задача заключается в том, чтобы определить, какие элементы следует заменить и как часто их менять, с тем чтобы снизить расходы на оборудование, на замену частей и другие затраты, связанные с выходом их из строя.

Состязательные процессы — процессы, в которых эффективность решения одной стороны может оказаться сниженной в связи с решением другой стороны. Наиболее часто встречающаяся в проектах операционного исследования ситуация носит название игры. Игра характеризуется числом участников, правилами игры, сформулированными с учетом всех возможных допустимых действий, некоторым конечным множеством состояний и наградами или потерями.

Основные методы, связанные с решением этого класса задач, известны как теория игр.

ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Ранг матрицы. Эквивалентные матрицы. Матрицей называется таблица чисел, состоящая из k строк и n столбцов. Матрица A размерами $k \times n$ записывается следующим образом:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2n} \\ & & & \\ a_{k1} & a_{k2} & & a_{kn} \end{pmatrix}$$

Определитель m-го порядка, составленный из элементов матрицы A, расположенных на пересечении выделенных строк и столбцов, называется минором m-го порядка матрицы A. Матрица A имеет $C_k^m C_n^m$ миноров m-го порядка.

Рангом матрицы A называется наибольший порядок минора этой матрицы, отличный от нуля. Если все элементы матрицы равны нулю, то ранг этой матрицы принимают равным нулю.

Всякий отличный от нуля минор матрицы, порядок которого равен рангу этой матрицы, называется базисным минором матрицы.

Ранг матрицы A обозначается через $r(A)$. Если $r(A) = r(B)$, то матрицы A и B называются эквивалентными, и этот случай записывается $A \backsim B$.

Ранг матрицы не изменяется от элементарных преобразований. Под элементарными преобразованиями понимаются: замена строк столбцами, а столбцов соответствующими строками; перестановка строк матрицы; вычеркивание строки, все элементы которой равны нулю; умножение какой-либо строки на число, отличное от нуля; прибавление к элементам одной строки соответствующих элементов другой строки.

Система линейных уравнений [14]. При экономических исследованиях и планировании приходится рассматривать системы линейных алгебраических уравнений со многими неизвестными величинами.

Система из k линейных уравнений с n неизвестными может быть записана в виде

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n &= b_1; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n &= b_2; \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots & \\ a_{k1}x_1 + a_{k2}x_2 + \cdots + a_{kn}x_n &= b_k \end{aligned} \qquad (1)$$

Решением этой системы называется совокупность n чисел $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n)$, которые, будучи подставлены вместо неизвестных в уравнения, обращают эти уравнения в тождества.

Многие проблемы, возникающие при экономических исследованиях и планировании, представляют собой задачи, когда необходимо решить некоторую систему линейных уравнений или неравенств и среди всех неотрицательных решений найти то решение, при котором некоторая линейная однородная функция принимает наибольшее или наименьшее значение. Изучение методов исследования и решения математических задач указанного типа составляет содержание линейного программирования.

Основная задача линейного программирования формулируется следующим образом. Дана система k линейных уравнений с n неизвестными вида (1), где все неизвестные могут принимать только неотрицательные значения $x_1 \geqslant 0$; $x_2 \geqslant 0$; ...; $x_n \geqslant 0$, и линейная однородная функция от тех же переменных

$$L = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n. \qquad (2)$$

Требуется среди всех решений системы уравнений (1) найти такое неотрицательное решение, при котором линейная форма (2) принимает наименьшее возможное значение.

Допустим, что предприятие или цех выпускает n видов изделий, имея k групп оборудования. Известны нормы времени на обработку каждого изделия на каждой группе оборудования (например, в минутах, часах) и фонд времени работы каждой группы оборудования. Требуется составить план производства, чтобы валовой выпуск был наибольшим.

Математическая модель поставленной задачи имеет следующий вид. Нужно максимизировать

$$L = \sum_{j=1}^{n} c_jx_j \qquad (3)$$

при следующих ограничениях:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n &\leqslant b_1; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n &\leqslant b_2; \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots & \\ a_{k1}x_1 + a_{k2}x_2 + \cdots + a_{kn}x_n &\leqslant b_k; \\ x_1 \geqslant 0;\ x_2 \geqslant 0;\ \ldots;\ x_n &\geqslant 0, \end{aligned} \qquad (4)$$

где приняты следующие обозначения: i — номер группы оборудования, $i = 1, 2, \ldots, k$; j — номер вида изделия, $j = 1, 2, \ldots, n$; a_{ij} — норма времени на обработку единицы j-го изделия на i-й группе оборудования; b_i — действительный фонд времени работы i-й группы оборудования; x_j — количество единиц j-го изделия в искомом плане производства ($x_1, x_2, \ldots, x_n$).

Введя k дополнительных неотрицательных неизвестных $x_{n+1}, x_{n+2}, \ldots, x_{n+k}$, можно математическую модель рассматриваемой задачи о рациональном использовании производственных мощностей легко свести к канонической задаче линейного программирования, которая сформулируется так: $L = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$ при следующих линейных ограничениях:

$$\begin{aligned}
&a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n + x_{n+1} = b_1;\\
&a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n + x_{n+2} = b_2;\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&a_{k1}x_1 + a_{k2}x_2 + \cdots + a_{kn}x_n + x_{n+k} = b_k;\\
&x_1 \geqslant 0;\ x_2 \geqslant 0;\ \ldots;\ x_n \geqslant 0;\ x_{n+1} \geqslant 0;\ \ldots;\ x_{n+k} \geqslant 0.
\end{aligned} \tag{5}$$

Симплекс-метод линейного программирования [6]. Этот метод принадлежит к числу аналитических методов решения основной задачи линейного программирования.

Пример. Допустим, что предприятие выпускает продукцию двух видов: A и B. Производство изделий A и B распадается на два этапа, причем все предварительные операции выполняются на участке 1 и все последующие операции могут быть выполнены на участках 2, 3, 4 в зависимости от выбранной технологии изготовления. Нужно максимизировать прибыль предприятия, если норма затрат времени изготовления продуктов A и B, фонд времени работы участков и прибыль на единицу продукции в зависимости от выбранной технологии изготовления заданы в таблице. Индексами 1, 2, 3 обозначены номера технологии

Участок	Продукт A			Продукт B			Ресурс времени
	A_1	A_2	A_3	B_1	B_2	B_3	
1	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	850
2	0,02	0	0	0,05	0	0	700
3	0	0,02	0	0	0,05	0	100
4	0	0	0,03	0	0	0,08	900
Прибыль	0,4	0,28	0,32	0,72	0,64	0,60	0

Математическая модель формулируется в следующем виде. Нужно минимизировать

$$L = -(0{,}4x_1 + 0{,}28x_2 + 0{,}32x_3 + 0{,}72x_4 + 0{,}64x_5 + 0{,}6x_6)$$

при

$$\begin{gathered} 0{,}01x_1 + 0{,}01x_2 + 0{,}01x_3 + 0{,}03x_4 + 0{,}03x_5 + 0{,}03x_6 \leqslant 850; \\ 0{,}02x_1 + 0{,}05x_4 \leqslant 700, \\ 0{,}02x_2 + 0{,}05x_5 \leqslant 100, \\ 0{,}03x_3 + 0{,}08x_6 \leqslant 900 \end{gathered} \tag{6}$$

Введением дополнительных переменных решение поставленной задачи приводится к задаче линейного программирования, которая запишется в следующем виде

Нужно минимизировать

$$L = -(0{,}4x_1 + 0{,}28x_2 + 0{,}32x_3 + 0{,}72x_4 + 0{,}64x_5 + 0{,}6x_6)$$

при

$$\begin{gathered} 0{,}01x_1 + 0{,}01x_2 + 0{,}01x_3 + 0{,}03x_4 + 0{,}03x_5 + 0{,}03x_6 + x_7 = 850, \\ 0{,}02x_1 + \quad + 0{,}05x_4 + \quad + x_8 = 700; \\ 0{,}02x_2 + \quad + 0{,}05x_5 + \quad + x_9 = 100, \\ 0{,}03x_3 + \quad + 0{,}08x_6 + x_{10} = 900. \end{gathered}$$

где x_1, x_2, x_3 — соответственно количество изделия A, изготовленного по технологии 1, 2, 3, x_4, x_5, x_6 — соответственно количество изделия B, изготовленного по технологии 1, 2, 3

На основании (6) составляем симплекс-таблицу

Базис	b_i	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	b_i/a_{ip}
x_7	850	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	1	0	0	0	85 000/3
x_8	700	0,02	0	0	0,05	0	0	0	1	0	0	70 000/5
x_9	100	0	0,02	0	0	0,05	0	0	0	1	0	
x_{10}	900	0	0	0,03	0	0	0,08	0	0	0	1	
L	0	0,4	0,28	0,32	0,72	0,64	0,6	0	0	0	0	

Теперь к симплекс-таблице применяем алгоритм симплекс-метода, пока не получим оптимального решения

1-й шаг Проверяем решение на оптимальность Решение $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = x_5 = x_6 = 0$, $x_7 = 850$, $x_8 = 700$, $x_9 = 100$, $x_{10} = 900$ не является оптимальным, так как в строке L все элементы неотрицательны

2-й шаг Выбираем разрешающий столбец из условия, что $\max\limits_j \{-c_j\} > 0$

Таким является столбец $p = 5$, так как $\max\limits_j \{-c_j\} = 0{,}72$ и в этом столбце имеется хоть один элемент больше нуля

3-й шаг Заполняем дополнительный столбец b_i/a_{ip} (только для тех строк, где $a_{ip} > 0$, $i = 1, 2, 3, 4$) В качестве разрешающей строки выбираем $r = 2$, так как для этой строки отношение b_2/a_{25} является минимальным Поэтому из базиса выводится неизвестная x_8, а в базис вводится неизвестная x_5

4-й шаг Вычисляем новую симплекс-таблицу по формулам

$$a'_{rj} = a_{rj}/a_{rp}, \quad j = 1\ 2 \qquad n + k + 1;$$

$$a'_{ij} = a_{ij} - a'_{rj}a_{ip}, \quad i \neq r.$$

Для рассматриваемого примера

$$a'_{2j} = a_{2j}/a_{25}, \quad j = 1, 2, \ldots, 11,$$

$$a'_{ij} = a_{ij} - a'_{2j}a_{ip}, \quad i = 1, 3, 4, 5, \quad j = 1, 2, \ldots, 11$$

После первой итерации получаем следующую симплекс-таблицу

Базис	b_i	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	b_i/a_{ip}
x_7	430	—0,002	0,01	0,01	0	0,03	0,03	1	0	0	0	43 000/3
x_4	14 000	0,4	0	0	1	0	0	0	20	0	0	0
x_9^*	100	0	0,02	0	0	0,05	0	0	0	1	0	10 000/5
x_{10}	900	0	0	0,03	0	0	0,08	0	0	0	1	0
L	—10 080	0,112	0,28	0,32	0	0,64*	0,6	0	—14,4	0	0	0

Процесс решения заканчивается, когда выполняется условие оптимальности, т е когда все элементы последней строки (строка L) станут не больше нуля (отрицательными) В приведенной ниже таблице дано оптимальное решение, которому соответствует следующий план производства изделий A нужно производить по первой технологии 35 000 шт , по второй технологии — 5000 шт , по третьей технологии — 30 000 шт , а изделие B производить не нужно (25 000)

Симплекс таблица оптимального решения

Базис	b_i	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	i/a_{ip}
x_7	150	0	0	0	1/200	1/200	1/300	1	—0,5	—0,5	—1/3	0
x_1	35 000	1	0	0	5/2	0	0	0	50	0	0	0
x_2	5 000	0	1	0	0	5/2	0	0	0	50	0	0
x_3	30 000	0	0	1	0	0	8/3	0	0	0	100/3	0
L	—30 000	0	0	0	—0,28	—0 06	—0,76/3	0	—20	—14	—32/3	0

МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ

В современном массовом производстве выпуск конечного продукта прямо зависит от ритмичности работы сборочного конвейера, который требует своевременной поставки комплектующих изделий со складов цехов и центрального склада завода для покупных изделий.

Склады — низовые звенья системы материально технического снабжения, они являются исполнителями, реализующими планы снабжения в их материально-вещественной форме.

Однопродуктовые модели управления запасами. Простейшей моделью управления запасами является выбор такого фиксированного размера заказываемой партии и интервала между поставками, при котором минимизируется расход на оформление заказа, доставку и хранение изделия.

Рассмотрим случай, когда уровень запасов убывает с постоянной интенсивностью, и в момент, когда запас исчерпан, подается заказ на поставку новой партии; восполнение запаса до уровня Q осуществляется мгновенно; накладные расходы не зависят от объема партии и являются постоянной величиной, равной c_0; стоимость хранения единицы изделия за единицу времени равна постоянной величине c_1.

Общие затраты за планируемый период T вычисляют по формуле

$$s = \frac{qT}{Q} c_0 + \frac{TQ}{2} c_1, \tag{7}$$

где q — количество изделий, требуемых в единицу времени.

Процесс восполнения и потребления изделий для этого случая показан на рис. 2.

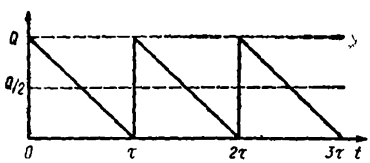


Рис. 2. График процесса восполнения и потребления в однопродуктовой модели управления запасом с мгновенной поставкой

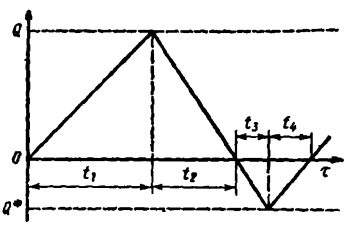


Рис. 3. График изменения запаса для детерминированного процесса модели управления запасом с постоянной интенсивностью спроса q и поставок λ

Оптимальные значения размера поставок, интервала между поставками и минимальное значение затрат соответственно вычисляются по формулам:

$$Q = \sqrt{2q \frac{c_0}{c_1}}; \tag{8}$$

$$\tau = \sqrt{2 \frac{c_0}{q}}; \tag{9}$$

$$s_{\min} = 2T \sqrt{\frac{qc_0c_1}{2}}. \tag{10}$$

Для детерминированного стационарного процесса с постоянной интенсивностью спроса q и поставок λ график изменения запаса показан на рис. 3.

В случае, когда расходы на хранение (и штрафы) пропорциональны среднему запасу (дефициту) и времени их существования при длительности цикла процесса τ, функция затрат за цикл вычисляется по формуле

$$s_\tau = g + s \int_0^{t_1+t_3} y(t)\,dt - p \int_{t_1+t_3}^{\tau} y(t)\,dt, \tag{11}$$

где

$$y(t) = \begin{cases} (\lambda - q)\, t & \text{при } 0 \leqslant t \leqslant t_1; \\ Q - q\,(t - t_1) & \text{при } t_1 < t \leqslant t_1 + t_2 + t_3; \\ -Q^* + (\lambda - q)\,(t - t_1 - t_2 - t_3) & \text{при } t_1 + t_2 + t_3 < t \leqslant \tau; \end{cases} \tag{12}$$

Q^* — максимальный дефицит; Q — максимальный уровень запаса; s — цена хранения за единицу изделия; p — цена штрафа (потерь) за единицу изделия; g — цена поставки за один период.

С учетом (12) и $Q^* = (\tau - (t_1 + t_2))\, Q/(t_1 + t_2)$ функция затрат в единицу времени

$$s_t = \frac{s_\tau}{\tau} = \frac{1}{\tau}\left[g + \frac{(p+s)\,Q^2}{2q\,(\lambda - q)}\right] + \frac{pq}{2\lambda}(\lambda - q) - pQ.$$

Решая совместно уравнения $\frac{\partial s_t}{\partial Q} = 0$ и $\frac{\partial s_t}{\partial \tau} = 0$, находим оптимальные значения

$$Q_{\text{опт}} = \sqrt{2qg\,(1 - q/\lambda)/s\,(1 + s/p)}, \tag{13}$$

$$\tau_{\text{опт}} = \sqrt{2g\,(1 + s/p)/qs\,(1 - q/\lambda)}. \tag{14}$$

Минимальные затраты в единицу времени

$$s_{t\,\min} = \sqrt{2qgs\,(1 - q/\lambda)/(1 + s/p)}. \tag{15}$$

Момент запуска производства (или заявка на поставку) определяется достижением дефицита

$$Q^* = (1/p)\sqrt{2qg\,(1 - q/\lambda)/s\,(1 + s/p)} \tag{16}$$

Из (13), (14) и (15) можно получить формулы для вычисления оптимальных значений Q, τ и s_t для следующих двух моделей

а) когда дефицит недопустим ($Q^* = 0$), т. е штраф p очень велик; этот случай соответствует условию $s/p = 0$; тогда

$$Q_{\text{опт}} = \sqrt{2qg\,(1 - q/\lambda)/s}; \tag{17}$$

$$\tau_{\text{опт}} = \sqrt{2g/qs\,(1 - q/\lambda)}; \tag{18}$$

$$s_{t\,\min} = \sqrt{2qgs\,(1 - q/\lambda)}; \tag{19}$$

б) когда интенсивность восполнения запаса высокая, т. е. при снабжении с центрального склада; этот случай соответствует условию $q/\lambda \approx 0$, тогда

$$Q_{\text{опт}} = \sqrt{2qg/s\,(1 + s/p)}; \tag{20}$$

$$\tau_{\text{опт}} = \sqrt{2g\,(1 + s/p)/qs}; \tag{21}$$

$$s_{t\,\min} = \sqrt{2qgs/(1 + s/p)} \tag{22}$$

Планирование объемов партий с учетом затрат на переналадку оборудования. Методы управления запасами с успехом могут быть применены для планирования работы технологических участков для подобных структур.

В соответствии с выработанным заранее плановым заданием k-й выходной агрегат ($k = 1, 2, \ldots, m$) должен за время T изготовить r_k готовых изделий, при этом за каждым k-м агрегатом закреплено изготовление только одного изделия. Изделие k выпускается с интенсивностью q_k, и с интенсивностью μ_k затрачивается изделие-полуфабрикат, выпускаемое входным агрегатом $k = 0$ (рис. 4). Полуфабрикат k, выпущенный входным агрегатом ($k = 0$) и не затраченный соответствующим выходным, может накапливаться на складе-бункере.

Переход входного агрегата с какой-либо операции на j-ю операцию связан с затратами на наладку, равными в стоимостном выражении π_j.

Период планирования нужно разбить на N циклов равной длительности $\tau = T/N$ таким образом, чтобы минимизировать издержки на хранение полуфабрикатов и переналадку входного агрегата. При этом расписание от цикла к циклу не меняется, а внутри каждого цикла входной агрегат запускается на операцию выпуска k-го полуфабриката

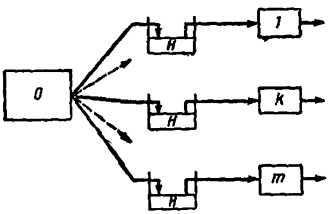


Рис. 4. Структурная схема переналаживаемой производственной системы:

H — накопитель

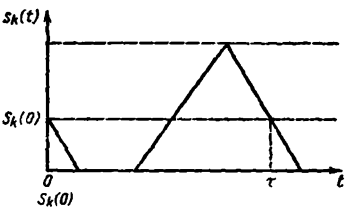


Рис. 5. График изменения запаса за цикл τ на складе-накопителе для k-го выходного агрегата, где

$$s_k(0) = r_k/N - q_k \sum_{j=k}^{m} q_j/\alpha_k;$$

$$\alpha_k = q_k q_{0k}/\mu_k$$

только один раз. График изменения запаса за цикл τ на складе-накопителе для k-го выходного агрегата показан на рис. 5.

Издержки за хранение и переналадку за планируемый период T

$$s = T(c\tau/2 + g/\tau), \tag{23}$$

где

$$c = \sum_{k=1}^{m} c_k (r_k/T)^2 (1 - \mu_k/q_{0k})/q_k; \tag{24}$$

$$g = \sum_{k=1}^{m} \pi_k; \tag{25}$$

q_{0k} — интенсивность выпуска входного агрегата k-го изделия; c_k — издержки (в стоимостном выражении) на хранение единицы k-го изделия.

Оптимальное значение длительности цикла

$$\tau_{опт} = \sqrt{2g/c}. \tag{26}$$

Минимальное значение суммарных издержек за плановый период T вычисляется по формуле (23) с учетом формулы (26).

СОСТАВЛЕНИЕ РАСПИСАНИЯ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Большой практический интерес представляет решение задачи оценки длительности выполнения задания в условиях, когда каждая операция связывается с определенным типом агрегата, а число агрегатов каждого типа ограничено. Решение таких задач производится с помощью теории расписаний. Проблемы теории расписаний с вычислительной точки зрения отличаются большой сложностью. Широкое применение в машиностроении станков с ЧПУ и автоматических участков из станков с ЧПУ для планирования работы требует применения теории расписаний для оптимизации технологического процесса.

Общеизвестной задачей теории расписаний является проблема составления расписания работы технологической линии, известная как задача Джонсона: требуется за минимальное время обработать партию из m деталей, каждая из которых должна последовательно пройти обработку на каждом из n станков, образующих технологическую линию, при известном времени (цикле) обработки (τ_{ij}) i-й детали ($i = 1, 2, \ldots, m$) на j-м станке ($j = 1, 2, \ldots, n$). Основная сложность в решении задачи Джонсона состоит в определении того порядка запуска, который обеспечивает минимум длины расписания. При большом числе различных деталей m и количестве станков n решение задачи связано с перебором огромного числа $(m!)^n$ возможных вариантов порядка запуска и сравнения длительности их расписания. Объем вычислений, необходимый для решения такой комбинаторной задачи, оказывается недоступным даже для мощных ЦВМ. Для частного случая, когда количество станков $n = 2$, удается установить порядок запуска деталей, обеспечивающий наименьшую длительность выполнения задания. Алгоритм запуска деталей состоит в следующем.

1. Определяется множество номеров деталей $J_1 = \{i/\tau_{i1} > \tau_{i2}\}$, т. е. список деталей, для которых время обработки на втором станке меньше, чем время обработки на первом станке. Следовательно, выделяется множество деталей, для которых «узким местом» является первый станок.

2. Определяется множество номеров деталей $J_2 = \{i/\tau_{i1} \leqslant \tau_{i2}\}$, т. е. список деталей, для которых время обработки на первом станке меньше, чем время обработки на втором станке. Таким образом, выделяется множество деталей, для которых узким местом является второй станок.

3. Внутри множества J_1 номера деталей упорядочиваются по убыванию величин τ_{i2}, т. е. номера деталей располагаются по мере убывания τ_{i2}.

4. Внутри множества J_2 номера деталей упорядочиваются по возрастанию величин τ_{i1}, т. е. номера деталей располагаются по мере возрастания τ_{i1}.

5. Первыми запускаются детали из множества J_2, а затем детали из множества J_1, т. е. сначала запускаются те детали, узкое место которых расположено дальше по линии. Эта последовательность запуска деталей обеспечивает минимальную длительность выполнения задания [7].

Пример. Пусть задание состоит в обработке $m = 5$ деталей. Длительность (в условных единицах) обработки деталей на каждом станке приведена в следующей таблице.

№ станка	Длительность обработки				
	1	2	3	4	5
1-й	4	4	30	6	2
2-й	5	1	4	30	3

1. Определяем множество $J_1 = \{2, 3\}$.
2. Определяем множество $J_2 = \{1, 4, 5\}$
3. Упорядочиваем множество $J_1 = \{3, 2\}$
4. Упорядочиваем множество $J_2 = \{5, 1, 4\}$.
5. Определяем порядок запуска деталей $J = \{5, 1, 4, 3, 2\}$.
6. Построив диаграмму Ганта, находим длительность расписания, равную 47 единицам времени (рис. 6).

Когда число станков $n > 3$, простого правила оптимального упорядочивания не существует. Поэтому для решения подобных задач с успехом применяют метод «ветвей и границ» [9] и эвристические методы.

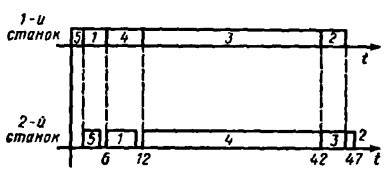


Рис. 6. Диаграмма Ганта

Метод «ветвей и границ» дает возможность упорядочить все множество вариантов и во многих случаях позволяет избежать полного перебора при построении точного решения или указывает величину погрешности при нахождении приближенного решения.

Эвристические методы строятся на разумном ограничении количества переборов, которые основываются на качественном анализе имеющихся аналитических решений.

Задача о производственном участке [9]. Пусть в задание включено изготовление m деталей. Обработка может производиться на n группах станков. Каждая группа j состоит из a_j эквивалентных станков. Для каждой детали задана технология обработки, однако сама последовательность операций для разных деталей различна. Пусть $M_i = \{b_{ij},\ j = 1, 2, \ldots, n\}$ — список номеров типов станков, на которых должны последовательно осуществляться операции над i-й деталью. Например, $M_2 = (1, 3, 2, 0, 0)$ означает, что для 2-й детали сначала требуется обработка на станке 1-го типа затем 3-го, наконец, 2-го типа. Станки остальных двух имеющихся типов не используются. Кроме того, предполагается, что задана $m \times n$-матрица длительностей операций, элемент которой τ_{ij} равен длительности обработки i-й детали на станках j-й группы.

Основной метод календарного планирования (составление расписаний) состоит в моделировании на ЭВМ процесса развертывания во времени операций с разрешением возникающих конфликтов. Как показано в работе [9], для решения поставленной задачи можно применить эвристический метод с двумя приоритетными схемами.

Схема 1 основывается на следующих правилах: а) если агрегат свободен и имеется деталь, готовая к обработке на станке этого типа, то она запускается на обработку; б) если нет свободных станков того типа, на котором должна выполняться очередная операция над деталью, то деталь ставят в очередь на обслуживание этими станками; в) если в очереди на обработку имеется несколько деталей, то первой запускается на обработку та, которая появилась в очереди раньше (правило «первым пришел—первым обслужен»); г) если на очереди несколько деталей одновременно, то на обработку первой поступает деталь, для которой суммарная длительность технологии $\sum_l \tau_{t_l}$ является наибольшей.

Схема 2. Правила а) и б) в ней остаются теми же, что и в схеме 1, а выбор детали из очереди подчиняется следующим условиям: в) если расстояния (по числу операций) до узкого места одинаковы, то вперед идет деталь, для которой ближайшая операция короче; г) первой запускается та деталь из очереди, для которой ее «узкое место» отнесено дальше по порядку следования предстоящих операций.

Для описания эвристического алгоритма введем следующие понятия: t_n — существенный момент, которому соответствует осуществление какого-либо события, или момент освобождения какого-либо станка; $F(n)$ — фронт работы, множество операций, которые в момент t_n могут быть по технологии осуществлены, но еще не назначены к выполнению; $L(n)$ — список свободных станков в момент t_n; $R(n)$ — список осуществленных событий в момент t_n.

Рассматриваемый алгоритм является рекурентным и начинается с начала выполнения задания, т. е. с момента t_0. Работа алгоритма для осуществления перехода от момента t_n к моменту t_{n+1} заключается в следующем.

1. Определяют фронт работ $F(n)$. Если $F(n) \neq \varnothing$ (т. е. есть работа для выполнения в момент t_n), то выполняют п. 2, в противном случае выполняют п. 5.

2. Назначают на свободные станки конкурирующие операции или по схеме 1 или по схеме 2.

3. Назначают на свободные станки прочие работы.

4. Переводят станки, на которых назначена работа, в число занятых: отмечают их занятость до момента окончания назначенных операций и заносят моменты окончания в список будущих существенных моментов.

5. Выбирают из списка будущих существенных моментов ближайший и считают его текущим существенным моментом t_{n+1}. Соответствующий станок переводят в список свободных $L(n+1)$.

6. Проверяют осуществление событий в момент t_{n+1} и заносят результат в список $R(n+1)$. Если осуществилось последнее событие N, т. е. $N \in R(n+1)$, то это означает конец работы алгоритма; если нет, то выполняют п. 1.

Пример. Пусть технология задания представлена сетью (рис. 7, *а*). Первое число около каждой стрелки дает длительность операции, второе — тип станка, необходимого для ее реализации. Рассмотрим работу алгоритма, используя приоритетное правило по схеме 2.

Операция 0. $t_0 = 0$.

1. Определяем фронт работы $F(0) = \{(0,1), (0,2), (0,3)\} \neq \varnothing$.

2. Работы $(0,2)$, $(0,3)$ — конкурирующие на станке I; $\tau_{0,2} = 10$; $\tau_{0,3} = 5$. Назначается работа $(0,3)$.

3 Работа $(0,1)$ назначается на станок 2

4. Станок 1 занят до $t = 5$, станок 2 занят до $t = 8$. Составляем список будущих существенных моментов $\{5,8\}$

5 Определяем $t_1 = 5$, равное минимальному элементу из списка $\{5,8\}$, и заполняем список свободных станков $L(1) = \{1, 3\}$.

6. Определяем список осуществленных событий $R(1) = \{(0,1)\}$. Так как в этот список не входит последнее событие (5), то переходим к следующей итерации — к п. 1.

Итерация 1. $t_1 = 5$.

1. Определяем фронт работ $F(1) = \{(0,2)\} \neq \varnothing$

2. $(0,2)$ назначаем на станок 1

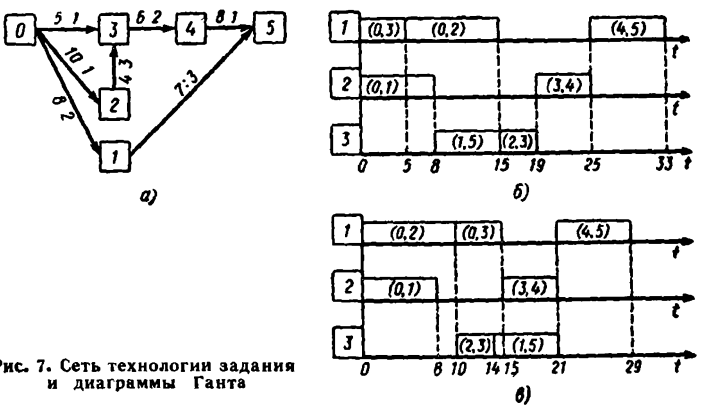


Рис. 7. Сеть технологии задания и диаграммы Ганта

3 Станок 1 занят до $t = t_1 + \tau_{02} = 5 + 10 = 15$. Список будущих существенных моментов — $\{8,15\}$.

4 $t_2 = 8$; $L(2) = \{2,3\}$.

5. $R(2) = \{(0,3), (0,1)\}$

Итерация 2. $t_2 = 8$.

1. Определяем $F(2) = \{1,5\} \neq \varnothing$.

2. $(1,5)$ назначаем на станок 3.

3. Станок 3 занят до $t = t_2 + \tau_{15} = 8 + 7 = 15$. Список будущих существенных моментов — $\{15, 15\}$.

4. $t_3 = 15$; $L(3) = \{1, 2, 3\}$.

5. $R(3) = \{(0,3), (0,1), (0,2), (1,5)\}$.

Итерация 3. $t_3 = 15$.

1. $F(3) = \{(2,3)\} \neq \varnothing$

2. $(2,3)$ назначаем на станок 3.

3 Станок 3 занят до $t = t_3 + \tau_{23} = 15 + 4 = 19$. Список будущих существенных моментов — $\{19\}$.

4. $t_4 = 19$; $L(4) = \{1, 2, 3\}$.

5. $R(4) = \{(0,3), (0,1), (0,2), (1,5), (2,3)\}$.

Итерация 4. $t_4 = 19$.

1. $F(4) = \{(3,4)\} \neq \varnothing$.

2. $(3,4)$ назначаем на станок 2.

3. Станок 2 занят до $t = t_4 + \tau_{34} = 19 + 6 = 25$. Список будущих существенных моментов — $\{25\}$.

4 $t_5 = 25$; $L(5) = \{1, 2, 3\}$.

5. $R(5) = \{(0,3), (0,1), (0,2), (1,5), (2,3), (3,4)\}$.

Итерация 5 $t_5 = 25$.

1. $F(5) = \{(4,5)\} \neq \varnothing$.

2. $(4,5)$ назначаем на станок 1.

3. Станок 1 занят до $t = t_8 + \tau_{48} = 25 + 8 = 33$. Список будущих существенных моментов — $\{33\}$.

4. $t_8 = 33$; $L(6) = \{1, 2, 3\}$.

5. $R(6) = \{(0,3), (0,1), (0,2), (1,5), (2,3), (3,4), (4,5)\}$.

На рис. 7 *(б, в)* приведены диаграммы Ганта как для оптимального расписания, так и для расписания, полученного при помощи рассмотренного алгоритма. Из сравнения результатов видно, что рассмотренный алгоритм для практических целей дает приемлемый результат.

Программа на языке АЛГОЛ рассмотренного алгоритма для транслятора ТА-1М приведена далее.

```
begin integer i, j; m, n, a, a1, a2, a3, k, d; real b, t1;
P0042 (m, n); a2 := 3 × m; a3 := 2 × m;
begin array t [1 : a2], t2 [1 : m, 1 : n], l1 [1 : a3],
integer array f [1 : a2], f1 [1 : n], l [1 : n], l2 [1 : n], m1 [1 : m, 1 : n];
P0042 (t2); P0042 (m1); P0042 (l);
for i := 1 step 1 until n do l2 [i] := l [i];
for i := 1 step 1 until a2 do t [i] := 0;
R : for i := 1 step 1 until a2 do f [i] := 0;
    a := a1 := 0; k := 1;
    for i := 1 step 1 until m do
    begin
    for j := 1 step 1 until n do
    begin
    if m1 [i, j] > 0 then go to R4 else go to R3;
R4 : a1 := 1; a := 1; R5 : if t [a + 2] = i then go to R7 else
go to R1;
R1 : a := a + 3; if a ≤ a2 then go to R5 else go to R6;
R6 : f [k] := m1 [i, j]; f [k + 1] := i; f [k + 2] := j;
        k := k + 3; go to R7; R3 : end; R7 : end;
        if a1 > 0 then go to R2 else go to R8;
R2 : for k := 1 step 1 until n do f1 [k] := 0;
    a := 0;
    for k := 1 step 1 until n do
    begin a := a + 1;
    for i := 1 step 3 until a2 do
    begin if f [i] = a then f1 [k] := f1 [k] + 1; end;
    end;
    for i := 1 step 1 until n do
    begin
    if l2 [i] = 0 then go to R9 else go to R10;
R10 : if f1 [i] > l2 [i] then go to R11 else go to R12;
R12:if f1 [i] = 0 then go to R9 else go to R13;
R13 : k := 0; for k := 1 step 3 until a2 do
      begin
      if f [k] = i then go to R14 else go to R15;
R14 : c := f [k + 1]; d := f [k + 2]; b := t2 [c, d];
f [k] := f [k + 1] := f [k + 2] := 0; a := 1;
R18 : if t [a + 1] = 0 then go to R16 else go to R17;
R17 : a := a + 3; go to R18;
R16 : t [a] := t1 + b; t [a + 1] := c; t [a + 2] := i; P1041 (i, c,
t1, n);
      l2 [i] := l2 [i] — 1; f1 [i] := f1 [i] — 1;
      if f1 [i] > 0 then go to R13 else go to R9; R15 : end,
```

```
R11 : for a := 1 step 1 until a3 do l1 [a] := 0;
      k := 1; for a := 1 step 1 until a2 do
      begin
      if f [a] := i then go to R19 else go to R20;
R19 : c := f [a + 1]; d := f [a + 2]; l1 [k] := t2 [c, d];
      l1 [k + 2] := c; k := k + 2; R20 : end;
R25 : k := 1; b := l1 [k]; for k := 1 step 2 until a3 do
      begin if l1 [k] > 0 then go to R21 else go to R22;
R21 : if l1 [k] < b then go to R24 else go to R23;
R24 : b := l1 [k]; c := l1 [k + 1]; d := k; R23; end;
R22 : l2 [i] := l2 [i] — 1; a := 1;
R28 : if t [a + 1] = 0 then go to R26 else go to R27;
R27 : a := a + 3; go to R28;
R26 : t [a] := t1 + b; t [a + 1] := c; t [a + 2] := i; l1 [d] =
      = l1 [d + 1] := 1 000 000;
      P1041 (i, c, t1, n); if l [i] > 0 then go to R25 else go to R9;
R9  end;
      b := 1 000 000, k := 1;
R29 : if t [k] > 0 then go to R30 else go to R31;
R30 : if t [k] < b then go to R32 else go to R31;
R32 : b := t [k]; go to R31;
R31 : k := k + 3; if k < a2 then go to R29 else go to R33;
R33 : t1 := b; k := 1;
R34 : if b = t [k] then go to R35 else go to R36;
R35 : i := t [k + 2]; a := t [k + 1]; t [k] := t [k + 1] : =
      = t [k + 2] := 0; j := 1;
R37 : if m1 [i, j] = a then go to R38 else go to R39;
R38 : m1 [i, j] = 0; l2 [a] := l2 [a] + 1;
      P1041 (i, a, t1, m); go to R36;
R39 : j := j + 1; if j ≤ n then go to R37 else go to R40;
R36 : k := k + 3; if k < a2 then go to R34 else go to R;
R40 : P1041 (m1); R8 : end; end
```

Исходная информация для программы подготовляется в следующем виде: m — количество деталей; n — количество групп станков; матрица τ — время обработки одной детали на каждом станке по технологическому процессу; матрица M — последовательность обработки на станках; вектор L — количество станков в каждой группе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагнер Г. Основы исследования операций. Т. 1. М., 1972. 335 с.
2. Вагнер Г. Основы исследования операций. Т. 2. М., «Мир», 1972. 486 с.
3. Вагнер Г. Основы исследования операций. Т. 3. М., «Мир», 1972. 501 с.
4. Вентцель Е. С. Исследование операций. М. «Советское радио», 1972. 550 с
5. Голенко Д. И., Дакелин А. И., Лившиц С. Е. Моделирование в технико-экономических системах. Л., изд. Ленинградского университета, 1975 196 с
6. Карандаев И. С. Начало линейного, нелинейного и динамического программирования М., изд Московского дома научно-технической пропаганды им Ф. Э Дзержинского, 1967 157 с
7. Козлова О. В. Автоматизированная система управления Т 2. М., «Мысль», 1972. 454 с
8. Конвей Р. В., Максвелл В. Л., Миллер Л. В. Теория расписаний М., «Наука», 1975. 359 с

9. **Первозванский А. А.** Математические модели в управлении производством. М , «Наука», 1975. 615 с.
10. **Рыжиков Ю. И.** Управление запасами. М., «Наука», 1969. 343 с.
11 **Танеев В. С., Шкурба В. В.** Введение в теорию расписаний. М., «Наука», 1975. 256 с.
12. **Черчмен У., Акоф Р., Арноф Л.** Введение в исследование операций. М., «Наука», 1968. 484 с.
13. **Энциклопедия** кибернетики. Т. 1. Киев, изд. Главной редакции Украинской советской энциклопедии, 1974.
14. **Энциклопедия** кибернетики Т 2. Киев, изд. Главной редакции Украинской советской энциклопедии, 1974. 619 с.

Глава 4

РАСЧЕТ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭВМ

Основным структурным элементом автоматических цехов и заводов является автоматическая линия (АЛ). Внедрение АЛ в автомобильную, тракторную, электротехническую, подшипниковую, авиационную и другие отрасли промышленности дало значительный экономический эффект благодаря увеличению производительности труда. Наряду с увеличением производительности труда и экономической эффективности производства АЛ обеспечивают повышение качества и точности обработки изделий, уменьшение незавершенного производства, облегчение труда и улучшение культуры производства, стимулируют совершенствование технологического процесса и управления.

Повышение эффективности применения комплексной автоматизации при проектировании требует оптимизации проектных решений. Автоматические линии являются структурным элементом автоматических производственных систем в массовом производстве машиностроения. Поэтому при создании новых АЛ нужно сравнивать экономические показатели их структурных вариантов. В качестве показателя часто используют приведенные затраты.

Приведенные затраты для разных вариантов (структурных компоновок) АЛ подсчитывают по формуле

$$\varphi_i = c_i + E_н K_i,$$

или

$$\varphi_i = \frac{t_{шт.к\,i}\,[c_{п.з\,i} n_i\,(1 - K_з) + E_н\,(K_1 Ц_i + Ц_{пл\,i} s_i K_з) + c_{э i}]}{F_{д i}\,\eta_i}, \qquad (1)$$

где $t_{шт.к\,i}$ — штучно-калькуляционное время по i-му варианту, ч; $c_{п.з\,i}$ — заработная плата наладчика в расчете на год работы по i-му варианту, руб.; n_i — число наладчиков, обслуживающих АЛ по i-му варианту; $K_з$ — коэффициент, учитывающий использование наладчиков для других работ; $E_н$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $F_{д i}$ — действительный годовой фонд времени работы АЛ по i-му варианту, ч; K_1 — коэффициент, учитывающий затраты по доставке, установке и пуску АЛ; $Ц_i$ — оптовая цена АЛ по i-му варианту; $Ц_{пл\,i}$ — средняя стоимость 1 м² общей площади здания, руб.; s_i — площадь, занимаемая АЛ по i-му варианту, м²; $K_з$ — коэффициент, учитывающий дополнительную площадь; $c_{э i}$ — стоимость используемой энергии по i-му варианту; η_i — коэффициент готовности АЛ по i-му варианту.

Как видно из формулы (1), для сравнения различных вариантов АЛ по удельным приведенным затратам необходимо вычислить их коэффициент готовности. Далее приведена методика расчета коэффициента готовности АЛ для различных структурных компоновок.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЕКТНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Процесс функционирования АЛ во времени с учетом отказности элементов можно представить как последовательную смену состояний:

$$A_1(t_1) \to A_2(t_2) \to \cdots \to A_{i_1}(t_{i_1}) \to \cdots \to A_{i_2}(t_{i_2}) \to, \qquad (2)$$

где t_l — момент l-й смены состояния; в $A_l(t_l)$ A_i — состояние системы, начинающееся в момент t_l и длящееся до момента t_{l+1}.

При этом под состоянием системы понимается интервал времени, в течение которого производительности участков АЛ остаются прежними. Исходя из такого определения состояния АЛ, можно каждое состояние системы определить вектор-строкой производительности участков. Например, i-е состояние АЛ будет записываться как $\{Q_1^i, Q_2^i, \ldots Q_k^i\}$. При таком задании состояния АЛ два состояния будут считаться различными, если вектор-строка производительностей участков отличается хотя бы одной компонентой, т. е. два состояния АЛ (i_1 и i_2) будут одинаковыми, если выполняется следующее соотношение:

$$Q_{ji1} = Q_{ji2}; \quad j = 1, 2, \ldots, k, \qquad (3)$$

где k — число участков АЛ.

Производительность участков является функцией от работоспособности участков и запасов накопителей. Поломка или восстановление наступают в случайные моменты времени, задаваемые законами распределения интервалов времени наработки на отказ $f_j(t)$ и интервалов времени восстановления $\varphi_j(t)$.

Последовательность (1) во времени можно разбить на два подмножества состояний: подмножество состояний, порождаемое отказами или восстановлениями оборудования $\{M_1\}$; подмножество состояний, порождаемое запасами накопителей $\{M_2\}$.

Таким образом, процесс функционирования АЛ можно представить следующим образом. В момент t_l система находится в одном из двух состояний i из подмножества $\{M_1\}$. Это состояние длилось бы до следующего (ближайшего) момента отказа и восстановления в систему t_{l+1} (состояние i_1), если бы система была жесткосблокированной. Но так как система нежесткосблокированная, в ней происходит изменение производительности участков. В зависимости от случайного интервала времени (t_l, t_{l+1}) и значения запасов накопителей за это время произойдет несколько смен состояний, вектор-строка производительности которых удовлетворяет состоянию

$$Q_j^i \geqslant Q_{je}^i, \qquad (4)$$

где Q_j^i — производительность j-го участка в i-м состоянии; Q_{je}^i — производительность j-го участка в e-смене состояния, порожденного изменением производительности вследствие наложенных потерь.

Математическую модель АЛ для метода статистических испытаний можно реализовать двояко: 1) разработать математическую модель для накопления статистики по состояниям системы; 2) разработать математическую модель системы для конкретной цели.

При первом подходе математическая модель будет обладать универсальностью, так как она позволит получить вероятности для каждого состояния и при помощи этих вероятностей построить любую целевую функцию. Но при этом подходе в зависимости от сложности системы резко будет расти число состояний, что очень усложняет сам процесс программирования и требует большого объема памяти ЭВМ. Количество состояний такой системы, как показано в работе [2], вычисляется по формулам

$$N \geqslant \left(1 + \sum_{j=1}^{k} 1/n_j\right) \prod_{j=1}^{k} n_j;$$

$$N \leqslant 3^{k-1} \prod_{j=1}^{k} (n_j + 1), \qquad (5)$$

где n_j — число потоков в j-м участке; k — число участков АЛ.

При втором подходе математическая модель АЛ получается более компактной. Так как при исследовании производительности АЛ основной показатель — коэффициент технического использования технологического оборудования, то при исследовании этого показателя можно упростить математическую модель для метода статистических испытаний.

Рассмотрим вектор-строку производительностей участков, компонентами которой являются номинальные производительности участков $\{Q_{1н}, Q_{2н}, \ldots, Q_{kн}\}$. Если любое другое состояние $\{Q_{1l}, Q_{2l}, \ldots, Q_{kl}\}$ длится в течение времени $\Delta\tau$, то это время можно разделить на простой ($\Delta\tau_{пр}$) и рабочий ($\Delta\tau_р$) участки:

$$\Delta\tau^l_{pj} = Q_{jl}\,\Delta\tau / Q_{jн};$$

$$\Delta\tau_{пр\,jl} = \Delta\tau - \Delta\tau_{р\,jl}, \qquad (6)$$

где $\Delta\tau_{р\,jl}$ — длительность работы j-го участка с номинальной производительностью $Q_{jн}$ в i-м состоянии; Q_{jl} — действительная производительность j-го участка в i-м состоянии; $\Delta\tau_{пр\,jl}$—длительность простоя j-го участка в i-м состоянии за время $\Delta\tau$.

Если за большое время T накапливать статистику $\sum_{l} \Delta\tau^l_{p\,jl}$, то коэффициент технического использования j-го участка будет определяться как отношение

$$\eta_j = \left(\sum_{l} \Delta\tau_{p\,jl}\right) \Big/ T \qquad (7)$$

При разработке математической модели АЛ для статистических испытаний по второму подходу процедура моделирования сводится к определению длительности сохранения текущего состояния. Для упрощения составления математической модели, как было показано ранее, процесс (2) делится на интервалы времени, в течение которых в системе не происходит отказа или восстановления (отрезки $\Delta t_l = t_{l+1} - t_l$), и на интервалы времени $\Delta\tau_\varepsilon$, когда производительности участков меняются вследствие выхода запасов накопителей на границу (т. е. опустошение или заполнение).

Как следует из самого процесса функционирования АЛ, за интервал времени Δt_l будет происходить случайное количество смен состояний M_3, определяемое запасом полуфабрикатов в накопителях и производительностью участков АЛ, и всегда выполняется соотношение

$$\Delta t_l = \sum_{\varepsilon=1}^{M_3} \Delta\tau_\varepsilon. \qquad (8)$$

При таком подходе алгоритм моделирования АЛ будет состоять из двух процедур: 1) вычисление отрезка Δt_l; 2) вычисление $\Delta\tau_\varepsilon$ и $\Delta\tau_{p\varepsilon}$.

Для вычисления Δt_l рассмотрим вектор-строку $\{t_1, t_2, \ldots, t_k\}$. Каждая компонента этого вектора t_j — интервал времени до изменения состояния j-го участка АЛ (т. е. момент времени, когда в j-м участке произойдет отказ или восстановление одного потока).

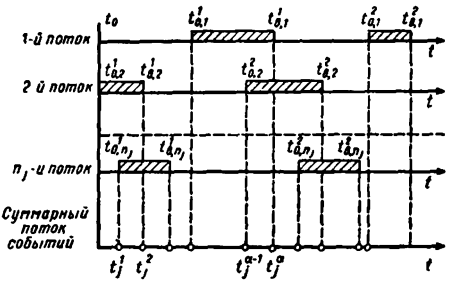


Рис. 1. График процесса восстановления для j-го участка

По определению t_j — это ближайший момент времени относительно текущего момента времени $t_l = \sum_{\alpha=1}^{l-1} \Delta t^\alpha$, до которого в системе не происходит отказа или восстановления. Поэтому текущий момент будет вычисляться по формуле

$$t_{l+1} = t_l + \min\{t_1, t_2, \ldots, t_k\}, \qquad (9)$$

где $\min\{t_1, t_2, \ldots, t_k\}$ — минимальная компонента вектора $\{t_1, t_2, \ldots, t_k\}$; t_l — предыдущий момент смены состояния системы по отношению к t_{l+1}.

Из (9) видно, что для вычисления t_{l+1} нужно вычислять компоненты вектора $\{t_1, t_2, \ldots, t_k\}$. Так как $t_1, t_2, \ldots, t_k$ — случайные величины, то для их определения нужно знать закон распределения этих величин $F_1(t)$, $F_2(t)$, ..., $F_k(t)$.

Так как каждый участок АЛ может быть многопоточным, то каждый участок характеризуется следующими показателями: количеством n_j потоков в j-м участке; количеством $m_j(t)$ неработоспособных потоков в некоторый момент времени t; количеством $(n_j - m_j(t))$ работоспособных потоков j-го участка в момент времени t.

Процесс восстановления для j-го участка графически показан на рис. 1, где приняты следующие обозначения: $t^\alpha_{\text{от}_j}$ — момент α-го отказа r-го потока j-го участка; $t^\alpha_{\text{вг}_j}$ — момент α-го восстановления r-го

потока j-го участка; $t_j^{\alpha-1}$ — момент $(\alpha-1)$ смены состояния j-го участка; t_j^{α} — момент α смены состояния j-го участка.

Для формирования вектора $\{t_1, t_2, \ldots, t_k\}$ при известных законах распределения интервалов безотказной работы $F_{oj}(t)$ и интервалов восстановления $F_{вj}(t)$ одного потока j-го участка нужно знать закон распределения суммарного потока событий, не изменяя состояния. Для этого достаточно определить предельное распределение длин интервалов, значительно удаленных от начала координат, т. е. считать составляющие процессы стационарными процессами восстановления. Чтобы вычислить плотность распределения этого события, необходимо рассмотреть предельное распределение обратного времени возвращения объединенного процесса восстановления U:

$$U = \min\{U_1, U_2, U_r, U_{n_j}\}, \tag{10}$$

где U_r соответствует r-й составляющей объединенного процесса восстановления ($r = 1, 2, \ldots, n_j$).

Так как составляющие процессы независимы (потоки j-го участка АЛ независимы друг от друга), то, как показано в работе [4], закон распределения величины $U_r = t_j^{\alpha} - t_j^{\alpha-1}$ определяется следующим образом:

$$P\{U_r > t\} = \prod_{r=1}^{n_j} P\{U_r > t\} =$$

$$= \left\{\int_t^{\infty} \frac{F_{oj}(u)}{\bar{t}_{vj}}\,du\right\}^{n_j-m_j} \left\{\int_t^{\infty} \frac{F_{вj}(u)}{\bar{t}_{вj}}\,du\right\}^{m_j} \tag{11}$$

После дифференцирования получим

$$g_j(t) = -\frac{dP\{u > t\}}{dt} = \frac{n_j - m_j}{\bar{t}_{p,j}} F_{oj}(t) \times$$

$$\times \left\{\int_t^{\infty} \frac{F_{oj}(u)}{\bar{t}_{pj}}\,du\right\}^{n_j-m_j-1} \left\{\int_t^{\infty} \frac{F_{вj}(u)}{\bar{t}_{вj}}\,du\right\}^{m_j} +$$

$$+ \frac{m_j}{\bar{t}_{вj}} F_{вj}(t) \left\{\int_t^{\infty} \frac{F_{oj}(u)}{\bar{t}_{pj}}\,du\right\}^{n_j-m_j} \left\{\int_t^{\infty} \frac{F_{вj}(u)}{\bar{t}_{вj}}\,du\right\}^{m_j-1} \tag{12}$$

Если допустим, что поток отказов и поток восстановления одного потока j-го участка подчинены экспоненциальному закону, т. е. $F_{oj}(t) = e^{-\lambda_j t}$ и $F_{вj}(t) = e^{-\mu_j t}$ то *получим*

$$g_j(t) = (n_j - m_j)\lambda_j e^{-\lambda_j (n_j-m_j) t} e^{-\mu_j m_j t} +$$

$$+ m_j \mu_j e^{-\lambda_j (n_j-m_j) t} e^{-\mu_j m_j t} =$$

$$= [(n_j - m_j)\lambda_j + m_j\mu_j] e^{-[(n_j-m_j)\lambda_j + m_j\mu_j] t}. \tag{13}$$

Как видно из (13), при экспоненциальных распределениях составляющих суммарный (*объединенный*) процесс восстановления тоже является экспоненциальным с параметром потока

$$\Lambda_j = (n_j - m_j)\,\lambda_j + m_j\mu_j. \tag{14}$$

По определению момента $t_j^{\alpha-1}$ в j-м участке произойдет изменение состояния, т. е. произойдет отказ или восстановление. Как известно, вероятность реализации отказа или восстановления *пропорциональна* интенсивностям этих событий в момент $t_j^{\alpha-1}$. Интенсивности этих событий в момент времени $t_j^{\alpha-1}$ вычисляются по формуле

$$\varphi_j(t) = -\frac{F'(t)}{F(t)}.$$

Определим интенсивность отказа в момент $t_j^{\alpha-1}$. Распределение времени t продолжительности события, заключающегося в том, что в j-м участке за это время не произойдет отказа (если j-я фаза в момент времени $t_j^{\alpha-1}$ находится в состоянии, когда $n_j - m_j$ потоков работоспособны, а m_j потоков отказали), вычисляют по формулам

$$F_{\text{отк }j}(t) = \prod_{r=1}^{n_j-m_j} P\{U_r > t\} = \left\{\int_t^\infty \frac{F_{0j}(u)}{\bar{t}_{pj}}\,du\right\}^{n_j-m_j};$$

$$F'_{\text{отк }j}(t) = -\frac{n_j - m_j}{\bar{t}_{pj}} F_{0j}(t)\left\{\int_t^\infty \frac{F_{0j}(u)}{\bar{t}_{pj}}\,du\right\}^{n_j-m_j-1}; \tag{15}$$

$$\varphi_{\text{отк }j} = \frac{(n_j - m_j)\,F_{0j}(t)}{\int_t^\infty F_{0j}(u)\,du}.$$

Интенсивность восстановления

$$F_{\text{восс }j}(t) = \prod_{r=1}^{m_j} P\{U_r > t\} = \left\{\int_t^\infty \frac{F_{\text{в}j}(u)}{\bar{t}_{\text{в}j}}\,du\right\}^{m_j}$$

$$F'_{\text{восс }j}(t) = -\frac{m_j}{\bar{t}_{\text{в}j}} F_{\text{в}j}(t)\left\{\int_t^\infty \frac{F_{\text{в}j}(u)}{\bar{t}_{\text{в}j}}\,du\right\}^{m_j-1}$$

$$\varphi_{\text{восс }j} = \frac{m_j F_{\text{в}j}(t)}{\int_t^\infty F_{\text{в}j}(u)\,du}. \tag{16}$$

Когда $F_{oj}(t) = e^{-\lambda_j t}$ и $F_{вj}(t) = e^{-\mu_j t}$,

$$\Phi_{отк\,j}(t) = \frac{(n_j - m_j)\, e^{-\lambda_j t}}{\int\limits_t^\infty e^{-\lambda_j u}\, du} = (n_j - m_j)\,\lambda_j; \qquad (17)$$

$$\Phi_{восс\,j}(t) = \frac{m_j e^{-\mu_j t}}{\int\limits_t^\infty e^{-\mu_j u}\, du} = m_j \mu_j. \qquad (18)$$

Для определения события в момент t_i^α (отказ или восстановление) можно воспользоваться алгоритмом, блок-схема которого показана на рис. 2.

После розыгрыша нового состояния для j-го участка в α-й ситуации определяют время жизни этой ситуации. Время жизни этой ситуации определяют как решение интегрального уравнения

$$\xi = \int_0^t g_j(\tau)\, d\tau, \qquad (19)$$

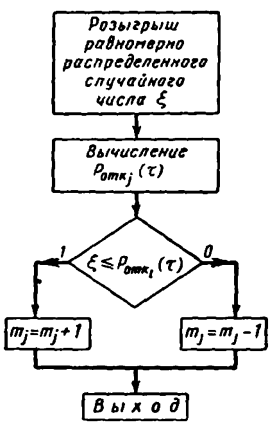


Рис. 2. Блок-схема алгоритма определения события в i-м участке в момент t_i^α

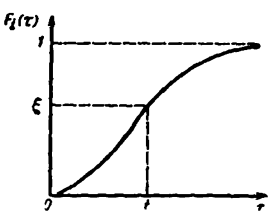


Рис. 3. Графическое решение уравнения (19)

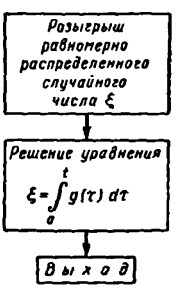


Рис. 4. Блок-схема алгоритма для решения уравнения (19)

где $g_j(\tau)$ вычисляют по формуле (12); ξ — равномерно распределенное случайное число.

Графически эта процедура показана на рис. 3, а блок-схема алгоритма на рис. 4.

Процедуру моделирования работы АЛ можно описать следующей последовательностью процедур.

1. Формируют начальные состояния участков АЛ, т. е. $\{m_1, m_2, m_j, \ldots, m_k\}$.

2. Формируют время жизни состояния $\{m_1, m_2, \ldots, m_k\}$ для каждого участка $\{t_1, t_2, \ldots, t_k\}$.

3. Вычисляют Δt_l, в течение которого в системе не происходит отказа или восстановления; $\Delta t_l = \min\{t_1, t_2, \ldots, t_j, \ldots, t_k\}$.

4. Вычисляют $\Sigma \Delta\tau_{p\,jl}$ и $\Sigma \Delta\tau_{пр\,jl}$ по формуле (6).

5. Накопление времени моделирования $T = T + \Delta t_l$.

6. Вычисляют коэффициент использования участков относительно момента моделирования $\eta_{j,l} = \dfrac{\sum\limits_{l} \Delta\tau_{pj}}{T_l}$.

7. Проверяют, закончено ли моделирование. Условием реализации этого события можно принимать выполнение условия

$$\left|\frac{\eta_{jl} - \eta_{jl-1}}{\eta_{jl}}\right| < \delta_l, \qquad (20)$$

где δ — точность моделирования для всех $j = 1, 2, \ldots, k$.

Если условие (20) выполнено, то моделирование заканчивается, и результаты выводятся из ЭВМ. Если же условие (20) не выполнено, то процесс моделирования продолжается.

8. Определяют номер участка, в котором должно происходить изменение состояния. Для этого компоненты вектора $\{t_1, t_2, \ldots, t_k\}$ сравнивают с Δt_l. При этом номер участка, в котором должно происходить изменение состояния, равен номеру компоненты вектора $\{t_1, t_2, \ldots, t_k\}$, для которого выполняется равенство $\Delta t_l = t_j$.

9. Компоненты вектора $\{t_1, t_2, \ldots, t_k\}$ уменьшают на величину Δt_l.

Для участка, в котором должно произойти изменение состояния, формируют новое состояние по алгоритму, блок-схема которого представлена на рис. 2.

Для нового состояния разыгрывают новое время жизни этого состояния по формуле (19) и формируют новый вектор $\{t_1 - \Delta t_l, t_{j\alpha}, \ldots, t_k - \Delta t_l\}$.

10. Моделирование повторяют с п. 3.

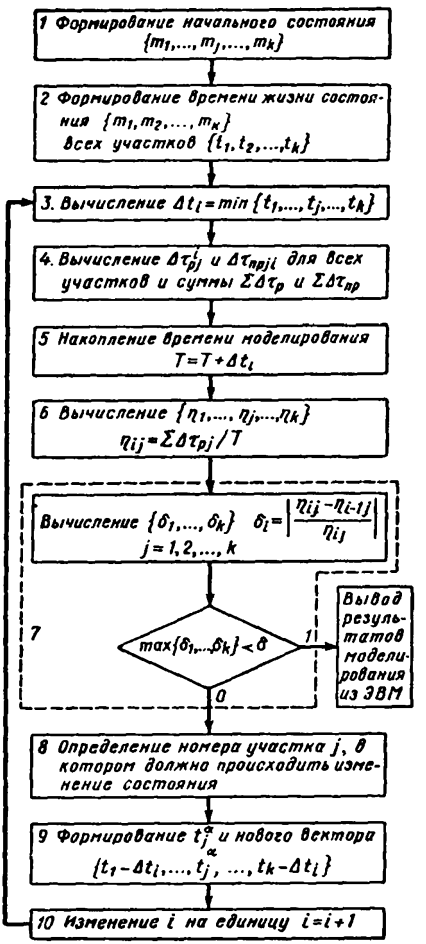


Рис. 5. Блок-схема моделирующего алгоритма

В описанном процессе моделирования, кроме п. 4, все пункты определены, что позволяет составить алгоритм моделирования. Блок-схема этого алгоритма приведена на рис. 5.

В описанном процессе вычисление $\Delta\tau_{pj}$ и $\Delta\tau_{пр\,j}$ за время Δt_l по п. 4 зависит от циклограммы работы АЛ и ее системы управления. Из

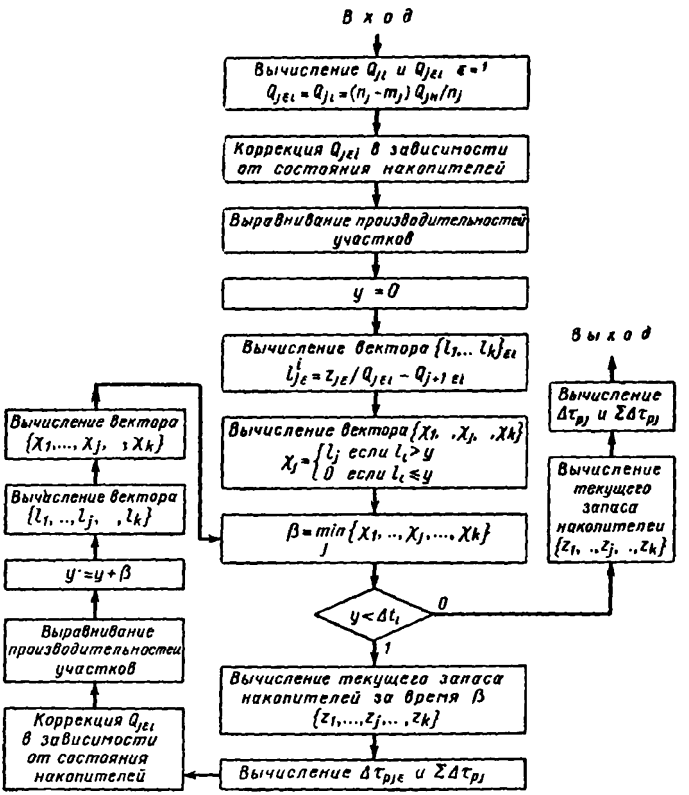


Рис. 6. Блок-схема алгоритма для пункта 4 моделирующего алгоритма (учитывает структуру управления АЛ)

этого следует, что описанный процесс моделирования является универсальным для различных АЛ с соответствующей коррекцией п. 4 (блок подсчета простоев АЛ вследствие разных производительностей участков и текущих запасов в накопителях). На рис. 6 приведена блок-схема алгоритма для п. 4 с учетом структуры управляющей системы АЛ. Программа на языке АЛГОЛ моделирующего алгоритма приведена далее.

```
begin integer i, n, k, e, a16;
real a, a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7, a8, a9, a10, a11, a12, a13, a14,
     a15, y, c, c1;
```

```
procedure dc (a7, c); real c, c1, a7, a11;
begin if a7 > 0 then go to L5 else go to L6;
L  : p0105 (100, 7777, 7777, 7777) L1 : p0105 (000, 2735, 0045, 0777);
L2 : p0105, (000, 0000, 0000, 0370); L3 : p0105 (000, 7777, 0400, 0000);
L4 : p0105 (000, 0044, 0000, 0000);
L5 : p0105 (015, L, L1, c1); p0105 (027, c1, L2, c1);
     p0105 (014, 0072, L4, L4); p0105 (015, L3, L4, L4);
L6 : p0105 (014, 0115, c1, c); p0105 (015, c1, c, a11);
     p0105 (055, a11, L3, a11); p0105 (014, 0054, a11, a11);
     p0105 (075, c, a11, c1); p0105 (021, c1, 0000, c); end;
a7 : = 1; dc (a7, c); a7: = 0; p0042 (n); p0042 (a14); p0042 (a15);
     p0042 (d); d2 : = 2 × d; d1 : = n + d;
begin array l, q, q1, q2, z, z3 [1 : n];
array л, м, м1, м2, t, t1, t2, u, u1 [1 : d1]; array u2 [1 : d2];
     p0042 (q2); p0042 (м); p0042 (л); p0042 (м1); p0042 (z3);
     p0042 (u2);
for i : = 1 step 1 until d1 do
     begin м2 [i] : = z [i] : = t1 [i] : = t2 [i] : = 0; u [i] : = 1; end;
     i : = 0; a10 : = 2; a9 : = 0; a : = 100 000;
R101 : if i ⩽ d1 then go to R100 else go to R102;
R100 : i : = i + 1; k : = i; go to R50;
R102 : a1 : = 100 000; i : = 1;
R20  : if t [i] < a1 then begin k : = i; a1 : = t [i]; end;
     i : = i + 1; if i ⩽ d1 then go to R20; go to R103;
R104: for i : = 1 step 1 until d1 do t [i] : = t [i] — a1;
       a9 : = a9 + a1;
       for i : = 1 step 1 until n do begin
       if q [i] > 0 then a11 : = 1/q [i] else a11 : = 0;
       if t2 [i] > a11 then go to R109 else go to R110;
R109: t [i] : = t [i] + t2 [i]; R110 : end;
       if t [k] > 0 then go to R106 else go to R105;
R105: if t [k] < 0 then go to R107;
       a10 : = 0; go to R50;
R106: if a9 < a14 then go to R102;
       for i : = 1 step 1 until n do u1 [i]: = (a9 — t1 [i])/a9;
       for i : = 1 step 1 until n do
       begin if abs (u [i] — u1 [i]) > 0.01 then go to R125; end;
       p0140 (0, u [1], 1 + n/10, 10); p0140 (0, q2 [1], 1 + n/10, 10);
       p0140 (0, м [1], 1 + n/10, 10); p0140 (0, л [1], 1 + d1/10, 10);
       p0140 (0, z3 [1], 1 + n/10, 10); p0140 (0, u2 [1], 1 + d2/10, 10);
       for i : = 1 step 1 until d1 do u1 [i] : = м1 [i]/(м1 [i] + л [i]);
       p0140 (0, u1 [1], 1 + d1/10, 10); p0143 (n, d, a9, a14);
       go to R108;
R107: p0143 (a9, n); go to R108;
R125: for i : = 1 step 1 until n do u [i] : = u1 [i];
       go to R102;
R103: y : = 0;
       for i : = 1 step 1 until n do t2 [i] : = 0;
       for i : = 1 step 1 until n do
begin  q [i] : = (м [i] — м2 [i]) × q2 [i]/м [i]; q1 [i] : = q [i]; end;
       j : = n + 1; d4 : = 1;
R152: if м2 [j] > 0 then go to R150 else go to R151;
```

```
R150: i := u2 [d4]; e := u2 [d4] + u2 [d4 + 1] — 1;
      for d3 := i step 1 until e do q1 [d3] := 0;
R151: j := j + 1; d4 := d4 + 2;
      if j ⩽ d1 then go to R152; a6 := 2; go to R10;
R51:  a2: = 100 000; i := 1;
R21:  if l [i] > y then go to R22 else go to R23;
R22:  if a2 > l [i] then a2 := l [i] else go to R23;
R23:  i := i + 1; if i ⩽ n — 1 then go to R21;
R52:  if a2 < a then go to R53 else go to R54;
R53:  if a2 ⩾ a1 then go to R54 else go to R55;
R55:  a3 := a2 — y; a5 := 0; go to R11;
R57:  y := a2; a6 := 0; go to R10;
R59:  a2 := 100 000; i := 1;
R60;  if l [i] > y then go to R61 else go to R62;
R61:  if a2 > l [i] then a2 := l [i] else go to R62;
R62:  i := i + 1; if i ⩽ n — 1 then go to R60 else go to R53;
R54:  a3 := a1 — y; a5 := 2; go to R11; R58: go to R104;
R10:  i := 1;
R3:   if z [i] > 0 then go to R2 else go to R4;
R4:   e := i;
R5:   if z [e] > 0 then go to R2;
      if q1 [e + 1] ⩽ q1 [e] then go to R2;
      q1 [e + 1] := q1 [e]; e := e + 1;
      if e ⩽ n — 1 then go to R5 else go to R2;
R2:   if z [i] < z3 [i] then go to R1;
      e := i;
R7:   if z [e] < z3 [e] then go to R1;
      if q1 [e] > q1 [e + 1] then go to R8 else go to R1;
R8:   q1 [e] := q1 [e + 1]; e := e — 1;
      if e ⩾ 1 then go to R7 else go to R1;
R1:   i := i + 1;
      if i ⩽ n — 1 then go to R3 else go to R49;
R49:  i := 1;
R25:  if z3 [i] > 0 then go to R26 else go to R27;
R26:  if q1 [i] > q1 [i + 1] then go to R28 else go to R29;
R29:  if q1 [i] < q1 [i + 1] then go to R30 else go to R27;
R27:  l [i] := a; go to R31;
R28:  l [i] := y + (z3 [i] — z [i])/(q1 [i] — q1 [i + 1]) go to R31;
R30:  l [i] := y + z [i]/(q1 [i + 1] — q1 [i]; go to R31;
R31:  i := i + 1; if i ⩽ n — 1 then go to R25;
      if a6 > 1 then go to R51 else go to R59;
R11:  i := 1;
R12:  a4 := z [i] + a3 × (q1 [i] — q1 [i + 1]); if a4 < 0 then
      go to R14;
      if a4 > z3 [i] then go to R13 else go to R16;
R13:  z [i] := z3 [i]; go to R15;
R14:  z [i] := 0; go to R15;
R16:  z [i] := a4; go to R15;
R15:  i := i + 1; if i ⩽ n — 1 then go to R12 else go to R17;
R17:  i := 1;
R32:  t1 [i] := t1 [i] + (q [i] — q1 [i]) × a3/q2 [i];
      if q1 [i] > 0 then go to R120 else go to R121;
R120: t2 [i] := t2 [i] + (q [i] — q1 [i]) × a3/q [i];
```

```
R121: i := i + 1; if i ≤ n then go to R32;
      if a5 > 1 then go to R58 else go to R57;
R50:  a4 := м [k] — м2 [k];
      if a4 < 0 then go to R70 else go to R71;
R71:  a11 := a4 × л [k]; a12 := м2 [k] × м1 [k];
      a13 := a11/(a11 + a12);
      dc (a7, c); if a13 ⩾ c then go to R73 else go to R72;
R72:  м2 [k] := м2 [k] — 1; if м2 [k] < 0 then go to R74 else
      go to R76;
R73:  м2 [k] := м2 [k] + 1; if м2 [k] > м [k] then go to R75 else
      go to R76;
R76:  dc (a7, c); t [k] := — (ln (c))/((м [k] — м2 [k]) × л [k] +
      + м2 [k] × м1 [k]);
      t1 [k] := t1 [k] + t [k] × м2 [k]/м [k];
      if a10 > 1 then go to R101 else go to R106;
R70:  a5 := — 1; p0143 (a9, a5); go to R108;
R74:  a5 := — 2; p0143 (a9, a5); go to R108;
R75:  a5 := — 3; p0143 (a9, a5); go to R108;
      end; R108 : end
```

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ МНОГОУЧАСТКОВЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Проектная производительность многоучастковых АЛ $Q = Q_{ц.\,п}\eta_л$, где $Q_{ц.\,п}$ — цикловая производительность последнего участка АЛ; $\eta_л$ — коэффициент готовности АЛ. Коэффициент готовности $\eta_л$ многоучастковой АЛ можно рассчитывать по методу, предложенному в работе [5]. Этот метод заключается в том, что многоучастковую АЛ из n участков разбивают на эквивалентные n — 1 двухучастковых и рассчитывают коэффициент готовности. Схема расчета показана на рис. 7.

Для упрощения расчета далее приведена алгольная программа. Исходными данными для программы являются следующие величины: 1) n — количество участков; 2) $\{t1_1, t1_2, ..., t1_n\}$ — вектор количества потоков в каждом участке; 3) $\{t2_1, t2_2, ..., t2_n\}$ — вектор длительности цикла одного потока по всем участкам; 4) $\{t3_1, t3_2, ..., t3_n\}$ — вектор надежности каждого участка; 5) $\{t5_1, t5_2, ..., t5_n\}$ — вектор параметра восстановлений одного потока по всем участкам; 6) $\{t6_1, t6_2, ..., t6_{n-1}\}$ — вектор надежности накопителей; 7) $\{t7_1, t7_2, ..., t7_{n-1}\}$ — вектор параметра восстановлений каждого накопителя; 8) $\{z_1, z_2, ..., z_{n-1}\}$ — емкость накопителей, измеренная во времени относительно цикловой производительности последующего участка.

```
begin real ш, a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7, a8;
real a, b, c, d, s, r1, r2, r3, r4, r5, л1, л2, л3, м1, м2, м3;
integer n, i, j, k, e; array p [1 : 20]; p0042 (n);
begin array t, t1, t2, t3, t4, t5, t6, t7, t8, z [1 : n];
      p0042 (t1); p0042 (t2); p0042 (t3); p0042 (t6); p0042 (t5);
      p0042 (t7); p0042 (z);
for i := 1 step 1 until n do
begin t4 [i] := (1 — t3 [i]) × t2 [i] × t5 [i]/t3 [i]; t8 [i] := 
      = (1 — t6 [i]) × t7 [i]/t6 [i]; end;
```

```
for i := 1 step 1 until n do t [i] := t1 [i]/t2 [i];
    l := 1; л1 := t4 [i]; м1 := t2 [i] × t5 [i]; i := 2;
м5: л2 := t4 [i]; м2 := t2 [i] × t5 [i]; л3 := t8 [i — 1]; м3 :=
    := t7 [i — 1]; s := t [i]/t [i — 1];
if s > 1 then go to м9;
```

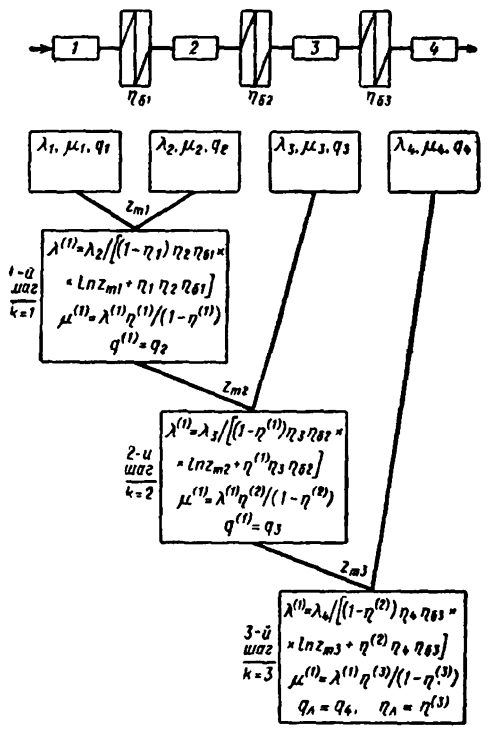


Рис. 7. Схема расчета многоучастковых АЛ

```
if s < 1 then begin s := 1/s; go to м8; end,
if л1 > л2 then go to м7;
if л1 < л2 then go to м7;
if м1 > м2 then go to м7;
if м2 > м1 then go to м7;
м6: p [1] := z [i — 1]; p [2] := z [i — 1]; p [3] := (z [i — 1] ×
    × л3)/(м1 + м3); p [4] := p [3];
    p [5] := ((((л3 × м1)/(м1 + м3)) + м1) + z [i — 1])/л1;
    p [6] := z [i — 1] × (((((((л3 × м1)/(м1 + м3)) + м1 × л3)/л1) +
          + 2 × л3 × м1/(м1 + м3))/м;
    p [7] := z [i — 1] × л1/м1; p8 := 1/(л1 × t [i]); p [9] := 2/(м1 ×
          × t [i]); p [10] := л3/(л1 × м3 × t [i]);
```

```
      p[11] := p[8]; p[12] := p[9]; p[13] := p[10]; ш := 0;
for k := 1 step 1 until 13 do ш := ш + p[k];
      ш := (p[8] + p[11] + p[5] + p[2])/ш; go to м10;
м7 : b := (м1 + м2 + (л3 × м1/(м3 + м1)) + л3 × м2/(м3 +
        + м2)))/(л1 + л2);
      a := л2 × b + (л1 + л2) × м1/(м1 + м2) + л3 × м3/(м2 + м3) —
        — (л1 + л3 + м2);
      c := — a × z[i — 1]; d := 0;
R400: if c > 30 then begin c := c — 30; d := d — 30; go to R400;
        end;
      d := exp(d); c := exp(c); p[1] := p[2]м = (d — c)/a;
      p[3] := p[1] × (л1 + л2)/(м1 + м2); p[4] := p[1] ×
      × л3/(м3 + м1);
      p[5] := p[1] × л3/(м3 + м2); p[6] := p[1] × b;
      p[7] := (p[1] × л3) × (b + м1/(м3 + м1) + м2/(м3 + м2))/м3;
      p[8] := c/л2;
      p[9] := p[8] × л3/м3; p[10] := c/м1 + p[8] × л1/м1;
      p[11] := d/л1;
      p[12] := p[11] × л3/м3; p[13] := d/м2 + p[11] × л2/м2;
      ш := 0;
for k := 1 step 1 until 13 do ш := ш + p[k];
      ш := (p[8] + p[6] + p[11] + p[2])/ш; go to м10;
м8 : a := м1 + л3 × м1/(м1 + м3) — (л1 + л2)/(s — 1);
      b := (s × м1 × (1 + л3/(м1 + м3)) + м2 × (1 + л3/(ш2 +
        + м3)))/(s — 1);
      c := (м1 × (л1 + s × л2)/(м1 + м2) + л3 × м3/(м2 + м3) —
        — л3 — м2 — л1)/s);
      d := л2/s + л2 × м1 × (s + 1)/(s × (м1 + м2));
      r1 := (sqrt((c — a) ↑ 2 + 4 × b × d) + a + c)/2;
      r2 := (a + c — sqrt((c — a) ↑ 2 + 4 × b × d))/2;
      a7 := — r1 × z[i — 1]; a8 := (r2 — r1) × z[i — 1]; a := 0;
R401: if a7 > 30 then
begin a7 := a7 — 30; a8 := a8 — 30; a:=a — 30; go to R401; end;
R402: if a8 > 30 then
begin a7 := a7 — 30; a8 := a8 — 30; a := a — 30; go to R402; end;
      a := exp(a);   r3 := exp(a7);   r4 := exp(a8);   p[1] :=
      = (a — r3)/r1 — (r4 — r3)/r2;
      p[2] := (r1 — c) × (a — r3)/(r1 × d) — (r2 — c) ×
      × (r4 — r3)/(r2 × d);
      p[3] := p[2] × (s — 1) × л3/(м1 + м3) + p[1] × s ×
      × л3/(м1 + м3);
      p[4] := p[2] × (s — 1) + p[1] × s; p[5] := p[1] ×
      × л3/(м2 + м3);
      p[6] := p[2] × л3/м3 + p[3] × м1/м3 + p[5] × м2/м3;
      p[7] := p[4] × л2/(м1 + м2) + p[1] × л1/(м1 + м2);
      p[8] := r3 × (s — 1) × (r1 — r2)/(d × м1);
      p[12] := a × ((r1 — c) × (s — 1)/d + s) — r4 × s — r4 ×
      × (r2 — c) × (s — 1)/d;
      p[13] := a — r4; p[9] := p[12] × s/л1; p[10] := p[9] ×
      × л3/м3;
      p[11] := p[9] × л2/м2 + p[13] × s/м2; ш := 0;
for k := 1 step 1 until 11 do ш := ш + p[k];
    ш := (p[2] + p[4] + p[9]/s) ш; go to м10;
```

```
м9 : а : = м1 + л3 × м1/(м1 + м3) — (л1 + л2)/(s — 1);
     b : = (s × м1 × (1 + л3/(м1 + м3) + м2 × (1 + л3/(м2 +
     + м3)))/(s — 1);
     c : = (м1 × (л1 + s × л2)/(м1 + м2) + л3 × м3/(м2 + м3) —
     — л3 — м2 — л1)/s);
     d : = л2/s + л2 × м1 × (s + 1)/(s × (м1 + м2));
     r1 : = (sqrt ((c — a) ↑ 2 + 4 × b × d) + a + c)/2;
     r2 : = (a + c — sqrt ((c — a) ↑ 2 + 4 × b × d))/2;
     a7 : = — r1 × z [ι — 1]; a8 : = (r2 — r1) × z [i — 1]; a : = 0;
     R411 : if a7 > 30 then
     begin a7 : = a7 — 30; a8 : = a8 — 30; a : = a — 30; go to R411;
     end;
     R412 : if a8 > 30 then
     begin a7 : = a7 — 30; a8 : = a8 — 30; a : = a — 30; go to
     R412; end;
     a : = exp (a); r3 : = exp (a7); r4 : = exp (a8);
     p [1] : = (a — r3)/r1 — (r4 — r3)/r2;
     p [2] : = (r1 — c) × (a — r3)/(r1 × d) — (r2 — c) ×
     × (r4 — r3)/(r2 × d);
     p [3] : = p [2] × (s — 1) × л3/(м1 + м3) + p [1] ×
     × s × л3/(м1 + м3);
     p [4] : = p [2] × (s — 1) + p [1] × s; p [5] ι = p [1] ×
     × л3/(м2 + м3);
     p [6] : = p [2] × л3/м3 + p [3] × м1/м3 + p [5] × м2/м3;
     p [7] : = p [4] × л2/(м1 + м2) + p [1] × л1/(м1 + м2);
     p [8] : = r3 × (s — 1) × (r1 — r2)/(d × м1);
     p [12] : = a × ((r1 — c) × (s — 1)/d + s) — r4 × s — r4 ×
     × (r2 — c) × (s — 1)/d;
     p [13] : = a — r4; p [9] : = p [12] × s/л1; p [10] ι = p [9] × л3/м3;
     p [11] : = p [9] × л2/м2 + p [13] × s/м2; ш : = 0;
for ι : = 1 step 1 until 11 do ш : = ш + p [k];
     ш : = (p [2] + p [4] + p [9])/ш;
м10 : л1 : = л2/(((1 — t3 [i — 1]) × t3 [i] × t6 [i — 1] × ln (z [ι — 1]) +
     + t3 [ι — 1] × t3 [i] × t6 [i — 1]));
     м1 : = л1 × ш/(1 — ш); ι : = i + 1; if ι ≤ n then go to м5;
     p0143 (n); p0143 (ш); p0140 (0; z [1], 1, n); p0140 (0; t [1], 1, n);
     p0140 (0, t1 [1]; 1, n);
     p0140 (0, t2 [1], 1, n); p0140 (0, t3 [1], 1, n); p0140 (0, t5 [1], 1, n);
     p0140 (0, t6 [1], 1, n — 1); p0140 (0, t7 [1], 1, n — 1); end; end.
```

После работы программы на печать выводят коэффициент технического использования АЛ и исходные параметры линии.

Пример. Нужно рассчитать оценку коэффициента готовности однопоточной АЛ из четырех участков со следующими параметрами:

1) Количество участков	4
2) Количество потоков в каждом участке	1; 1; 1
3) Длительность цикла одного потока для каждого участка, мин	0,8; 1; 1,1; 0,9
4) Надежность соответствующего участка	0,8; 0,85; 0,9, 0,85
5) Параметр восстановления одного потока соответствующего участка, 1/мин	0,2; 0,2; 0,2; 0,2
6) Надежность накопителей	0,95; 0,98; 0,98
7) Параметр потока восстановлений соответствующих накопителей, 1/мин	0,2; 0,2; 0,2
8) Емкость накопителей, мин	20; 15; 15

Исходные данные для расчета оценки коэффициента готовности подготовляют в следующем виде:

1) 4;
2) 1; 1; 1; 1; — вектор $\{t1_1, t1_2, t1_3, t1_4\}$;
3) 0,8; 1; 1,1; 0,9 — вектор $\{t2_1, t2_2, t2_3, t2_4\}$;
4) 0,8; 0,85; 0,9; 0,85, — вектор $\{t3_1, t3_2, t3_3, t3_4\}$;
5) 0,2; 0,2; 0,2; 0,2; — вектор $\{t5_1, t5_2, t5_3, t5_4\}$;
6) 0,95; 0,98; 0,98; — вектор $\{t6_1, t6_2, t6_3\}$;
7) 0,2; 0,2; 0,2; — вектор $\{t7_1, t7_2, t7_3\}$;
8) 20; 15, 15; — вектор $\{z_1, z_2, z_3\}$

Результаты счета печатаются в следующей последовательности:

1) $0{,}73 \cdot 10^0$ — коэффициент готовности;
2) $0{,}4 \cdot 10^1$ — количество участков;
3) $0{,}2 \cdot 10^2$, $0{,}15 \cdot 10^2$, $0{,}15 \cdot 10^2$ — емкость накопителей;
4) $0{,}8 \cdot 10^0$, $0{,}1 \cdot 10^1$, $0{,}11 \cdot 10^1$, $0{,}9 \cdot 10^0$ — длительность цикла участков;
5) $0{,}8 \cdot 10^0$, $0{,}85 \cdot 10^0$, $0{,}9 \cdot 10^0$, $0{,}85 \cdot 10^0$ — надежность участков;
6) $0{,}95 \cdot 10^0$, $0{,}98 \cdot 10^0$, $0{,}98 \cdot 10^0$ — надежность накопителей;
7) $0{,}1 \cdot 10^1$, $0{,}1 \cdot 10^1$, $0{,}1 \cdot 10^1$, $0{,}1 \cdot 10^1$ — количество потоков в каждом участке;
8) $0{,}8 \cdot 10^0$, $0{,}1 \cdot 10^1$, $0{,}11 \cdot 10^1$, $0{,}9 \cdot 10^0$ — длительность цикла одного потока в каждом участке.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МНОГОПОТОЧНОЙ И МНОГОУЧАСТКОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ (ММАЛ) БЕЗ НАКОПИТЕЛЕЙ

В ММАЛ обработка изделий происходит последовательно по участкам ($i = 1, 2, \ldots, k$). ММАЛ в общем случае состоит из k участков, и участок с номером i состоит из n_i одинаковых параллельных потоков, работающих независимо друг от друга, т. е. любая структура ММАЛ задается вектор-строкой $\{n_1, n_2, \ldots, n_k\}$. Каждый участок ММАЛ, кроме количества потоков, характеризуется надежностными показателями. Параметры потока отказов одного потока участков задаются вектор-строкой $\{\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_k\}$, а параметры восстановления — $\{\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_x\}$. Как известно [2], количество состояний ММАЛ вычисляется по формуле

$$N = \left(1 + \sum_{i=1}^{k} 1/n_i\right) \prod_{i=1}^{k} n_i, \tag{21}$$

где n_i — количество потоков i-го участка; i — номер участка; k — количество участков ММАЛ.

При этом множество состояний ММАЛ делят на два подмножества: 1) состояние системы, когда нет полностью отказавшего участка ($d = 0$), 2) состояние системы, когда один из участков полностью отказал ($d = 1$).

Состоянием системы называется упорядоченная вектор-строка $\{\alpha_{1j}, \alpha_{2j}, \ldots, \alpha_{ij}, \alpha_{kj}\}$, где каждый компонент α_{ij} определяет количество неработоспособных потоков в i-м участке в j-м возможном состоянии системы. Состояние с номером j ($\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij}, \ldots, \alpha_{kj}\}$) считается возможным, если

$$d_j = \sum_{i=1}^{k} \beta_{ij} \leqslant 1,$$

где

$$\beta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } \alpha_{ij} = n_i; \\ 0, & \text{если } \alpha_{ij} < n_i. \end{cases}$$

Закон функционирования ММАЛ описывается системой дифференциальных уравнений размножения и гибели [2], которая переходит в систему линейных алгебраических уравнений для стационарного режима.

Система линейных алгебраических уравнений, описывающая закон функционирования ММАЛ в стационарном режиме для случая, когда количество наладчиков равно количеству потоков в линии, имеет следующий вид:

для состояний с $d_j = 0$

$$\sum_{i=1}^{k} P\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij}, \ldots, \alpha_{kj}\}(n_i - \alpha_{ij} + 1)\lambda_i + \sum_{i=1}^{k} P\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij} + 1, \ldots, \alpha_{kj}\}(\alpha_{ij} + 1)\mu_i - P_j\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij}, \ldots, \alpha_{kj}\} \sum_{i=1}^{k} [(n_i - \alpha_{ij})\lambda_i + \alpha_{ij}\mu_i] = 0; \quad (22а)$$

для состояний с $d_j = 1$

$$P\{\alpha_{1j}, \ldots, n_i - 1, \ldots, \alpha_{kj}\}\lambda_i - P_j\{\alpha_{1j}, \ldots, n_i, \ldots, \alpha_{kj}\} n_i\mu_i = 0. \quad (22б)$$

Система линейных алгебраических уравнений, описывающая закон функционирования ММАЛ в стационарном режиме для случая, когда каждый участок обслуживается своей бригадой наладчиков (участок с номером i обслуживается бригадой из m_i наладчиков), имеет следующий вид:

для состояний с $d_j = 0$

$$\sum_{i=1}^{k} P\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij} - 1, \ldots, \alpha_{kj}\}(n_i - \alpha_{ij} + 1)\lambda_i + \sum_{i=1}^{k} P\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij} + 1, \ldots, \alpha_{kj}\}[(\alpha_{ij} + 1)\delta_{ij} + m_i(1 - \delta_{ij})]\mu_i - P_j\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij}, \ldots, \alpha_{kj}\} \times \sum_{i=1}^{k} \{(n_i - \alpha_{ij})\lambda_i + [\alpha_{ij}\delta_{ij} + (1 - \delta_{ij})m_i]\mu_i\} = 0; \quad (23)$$

для состояний с $d_j = 1$

$$P\{\alpha_{1j}, \ldots, n_i - 1, \ldots, \alpha_{kj}\}\lambda_i - P_j\{\alpha_{1j}, \ldots, n_i, \ldots, \alpha_{kj}\} \times [n_i\delta_{ij} + (1 - \delta_{ij})m_i]\mu_i = 0,$$

где $P_j\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij}, \ldots, \alpha_{kj}\}$ — вероятность состояния j, которому соответствует вектор-строка состояния $\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij}, \ldots, \alpha_{kj}\}$;

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } \alpha_{ij} \leqslant m_i; \\ 0, \text{ если } \alpha_{ij} > m_i; \end{cases}$$

m_i — количество наладчиков, обслуживающих участок с номером i; α_{ij} — количество отказавших потоков в i-м участке в j-м состоянии.

Вероятность каждого состояния для системы уравнений (22)

$$P_j\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij}, \ldots, \alpha_{kj}\} = P_0 \prod_{i=1}^{k} C_{n_i}^{\alpha_{ij}} \rho_i^{\alpha_{ij}}, \tag{24}$$

где

$$P_0 = \left[\sum_{j=1}^{N}\left(\prod_{i=1}^{k} C_{n_i}^{\alpha_{ij}} \rho_i^{\alpha_{ij}}\right)\right]^{-1}; \tag{25}$$

$\rho_i = \lambda_i/\mu_i = (1 - \eta_i)/\eta_i$ — удельные потери одного потока i-го участка; η_i — надежность одного потока i-го участка.

Вероятность каждого состояния для системы уравнений (23)

$$P_j\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij}, \ldots \alpha_{kj}\} = P_0 \prod_{i=1}^{k} P_i(\alpha_{ij}, \rho_i; n_i, m_i),$$

где

$$P_i(\alpha_{ij}, \rho_i, n_i, m_i) = \begin{cases} C_{n_i}^{\alpha_{ij}} \rho_i^{\alpha_{ij}}, \text{ если } \alpha_{ij} \leqslant m_i; \\ \dfrac{n_i!\, \rho_i^{\alpha_{ij}}}{m_i!\, m_i^{\alpha_{ij}-m_i}(n_i - \alpha_{ij})!}, \text{ если } \alpha_{ij} > m_i; \end{cases} \tag{26}$$

$$P_0 = \left[\sum_{j=1}^{N}\left(\prod_{i=1}^{k} P_i(\alpha_{ij}, \rho_i, n_i, m_i)\right)\right]^{-1}. \tag{27}$$

Проектная производительность ММАЛ

$$Q_{\text{пр}} = \sum_{j=1}^{N} q_j P_j\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij}, \ldots, \alpha_{kj}\}, \tag{28}$$

где $q_{ij} = (n_i - \alpha_{ij})\, q_{i\text{н}}$ — потенциальная производительность i-го участка в j-м состоянии; $q_{i\text{н}}$ — цикловая производительность одного потока i-го участка; $q_j = \min_i \{q_{ij}\}$ — производительность ММАЛ в j-м состоянии, равная минимальной потенциальной производительности участка в j-м состоянии.

Расчет производительности ММАЛ состоит из следующих этапов: а) определение множества состояний ММАЛ ($\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{ij}, \ldots, \alpha_{kj}\}$); б) определение производительности ММАЛ в каждом состоянии (q_j); в) вычисление вероятности каждого состояния ММАЛ ($P_j\{\alpha_{1j}, \ldots, \alpha_{kj}\}$); г) вычисление проектной производительности.

Пример. Нужно рассчитать проектную производительность ММАЛ, состоящей из трех участков. В 1, 2 и 3-м участке параллельно работают по два потока. Надежность всех потоков одинакова и равна 0,8. Каждый участок обслуживается двумя наладчиками. Эту ММАЛ формально записываем следующим образом:

вектор-строка структуры — $\{2, 2, 2\}$;

вектор-строка наладчиков — $\{2, 2, 2\}$;

вектор-строка цикловой производительности — $\{1, 1, 1\}$;

вектор-строка надежности — $\{0{,}8, 0{,}8, 0{,}8\}$;

вектор-строка удельных потерь — $\{0{,}25, 0{,}25, 0{,}25\}$.

Определяем множество состояний:

$\{0, 0, 0\}_1$, $\{0, 0, 1\}_2$, $\{0, 0, 2\}_3$, $\{0, 1, 0\}_4$,
$\{0, 1, 1\}_5$, $\{0, 1, 2\}_6$, $\{0, 2, 0\}_7$, $\{0, 2, 1\}_8$,
$\{1, 0, 0\}_9$, $\{1, 0, 1\}_{10}$, $\{1, 0, 2\}_{11}$, $\{1, 1, 0\}_{12}$,
$\{1, 1, 1\}_{13}$, $\{1, 2, 0\}_{15}$, $\{1, 2, 1\}_{16}$, $\{1, 1, 2\}_{14}$,
$\{2, 0, 0\}_{17}$, $\{2, 0, 1\}_{18}$, $\{2, 1, 0\}_{19}$, $\{2, 1, 1\}_{20}$.

Определяем производительность ММАЛ в каждом состоянии:

$q_1 = 2$; $q_2 = 1$; $q_3 = 0$; $q_4 = 1$; $q_5 = 1$;
$q_6 = 0$; $q_7 = 0$; $q_8 = 0$; $q_9 = 1$; $q_{10} = 1$;
$q_{11} = 0$; $q_{12} = 1$; $q_{13} = 1$; $q_{14} = 0$; $q_{15} = 0$;
$q_{16} = 0$; $q_{17} = 0$; $q_{18} = 0$; $q_{19} = 0$; $q_{20} = 0$.

Вычисляем вероятности каждого состояния ММАЛ. Начинаем с вычисления P_0 по формуле (28):

$$P_0 = \left[\sum_{j=1}^{20}\left(\prod_{l=1}^{3} C_{n_l}^{\alpha_{lj}}\rho^{\alpha_{lj}}\right)\right]^{-1} = [C_2^0\rho_1^0\cdot C_2^0\rho_2^0\cdot C_2^0\rho_3^0 +$$
$$+ C_2^0\rho_1^0\cdot C_2^0\rho_2^0 C_2^1\rho_3^1 + C_2^0\rho_1^0\cdot C_2^0\rho_2^0\cdot C_2^2\rho_3^2 +$$
$$+ C_2^0\rho_1^0\cdot C_2^1\rho_2^1\cdot C_2^0\rho_3^0 + C_2^0\rho_1^0\cdot C_2^1\rho_2^1\cdot C_2^1\rho_3^1 +$$
$$+ C_2^0\rho_1^0\cdot C_2^1\rho_2^1\cdot C_2^2\rho_3^2 + C_2^0\rho_1^0\cdot C_2^0\rho_2^2\cdot C_2^0\rho_3^0 +$$
$$+ C_2^0\rho_1^0\cdot C_2^2\rho_2^2\cdot C_2^1\rho_3^1 + C_2^1\rho_1^1\cdot C_2^0\rho_2^0\cdot C_2^0\rho_3^0 +$$
$$+ C_2^1\rho_1^1\cdot C_2^0\rho_2^0\cdot C_2^1\rho_3^1 + C_2^1\rho_1^1\cdot C_2^0\rho_2^0\cdot C_2^2\rho_3^2 +$$
$$+ C_2^1\rho_1^1\cdot C_2^1\rho_2^1\cdot C_2^0\rho_3^0 + C_2^1\rho_1^1\cdot C_2^1\rho_2^1\cdot C_2^1\rho_3^1 +$$
$$+ C_2^1\rho_1^1\cdot C_2^2\rho_2^2\cdot C_2^0\rho_3^0 + C_2^1\rho_1^1\cdot C_2^2\rho_2^2\cdot C_2^1\rho_3^1 +$$
$$+ C_2^1\rho_1^1\cdot C_2^1\rho_2^1\cdot C_2^2\rho_3^2 + C_2^2\rho_1^2\cdot C_2^0\rho_2^0\cdot C_2^0\rho_3^0 +$$
$$+ C_2^2\rho_1^2\cdot C_2^0\rho_2^0\cdot C_2^1\rho_3^1 + C_2^2\rho_1^2\cdot C_2^1\rho_2^1\cdot C_2^0\rho_3^0 + C_2^2\rho_1^2\cdot C_2^1\rho_2^1\cdot C_2^1\rho_3^1 =$$
$$= [1 + 0{,}5 + 0{,}0625 + 0{,}5 + 0{,}25 + 0{,}03125 + 0{,}0625 + 0{,}03125 + 0{,}5 + 0{,}25 +$$
$$+ 0{,}03125 + 0{,}25 + 0{,}125 + 0{,}015625 + 0{,}03125 +$$
$$+ 0{,}015625 + 0{,}0625 + 0{,}03125 + 0{,}03125 + 0{,}015625]^{-1} = 0{,}2634.$$

Вычисляем вероятности состояний по формуле (24):

$P_1\{0, 0, 0\} = 0{,}2634\cdot 1 = 0{,}2634$; $P_2\{0, 0, 1\} = 0{,}2634\cdot 0{,}5 = 0{,}1317$;
$P_3\{0, 0, 2\} = 0{,}2634\cdot 0{,}0625 = 0{,}0164$; $P_4\{0, 1, 0\} = 0{,}2634\cdot 0{,}5 = 0{,}1317$;
$P_5\{0, 1, 1\} = 0{,}2634\cdot 0{,}25 = 0{,}0658$; $P_6\{0, 1, 2\} = 0{,}2634\cdot 0{,}03125 = 0{,}0082$;
$P_7\{0, 2, 0\} = 0{,}2634\cdot 0{,}0625 = 0{,}0164$; $P_8\{0, 2, 1\} = 0{,}2634\cdot 0{,}03125 =$
$= 0{,}0082$; $P_9\{1, 0, 0\} = 0{,}2634\cdot 0{,}5 = 0{,}1317$; $P_{10}\{1, 0, 1\} = 0{,}2634\cdot 0{,}25 =$

$= 0{,}0658$; $P_{11}\{1, 0, 2\} = 0{,}2634 \cdot 0{,}03125 = 0{,}0082$; $P_{12}\{1, 1, 0\} = 0{,}2634 \times 0{,}25 = 0{,}0658$; $P_{13}\{1, 1, 1\} = 0{,}2634 \cdot 0{,}125 = 0{,}0329$; $P_{14}\{1, 1, 2\} = 0{,}2634 \cdot 0{,}015625 = 0{,}0041$; $P_{15}\{1, 2, 0\} = 0{,}2634 \cdot 0{,}03125 = 0{,}0082$; $P_{16}\{1, 2, 1\} = 0{,}2634 \cdot 0{,}015625 = 0{,}0041$; $P_{17}\{2, 0, 0\} = 0{,}2634 \cdot 0{,}0625 = 0{,}0164$; $P_{18}\{2, 0, 1\} = 0{,}2634 \cdot 0{,}03125 = 0{,}0082$; $P_{19}\{2, 1, 0\} = 0{,}2634 \times 0{,}03125 = 0{,}0082$; $P_{20}\{2, 1, 1\} = 0{,}2634 \cdot 0{,}015625 = 0{,}0041$.

Вычисляем проектную производительность:

$Q_{пр} = 2 \cdot 0{,}2634 + 1 \cdot 0{,}1317 + 1 \cdot 0{,}1317 + 1 \cdot 0{,}0658 + 1 \cdot 0{,}1317 + 1 \cdot 0{,}0658 + 1 \cdot 0{,}0658 + 1 \cdot 0{,}0329 = 1{,}1522$ шт. в единицу времени.

Как видно из формулы (21), количество состояний ММАЛ резко растет с усложнением структуры, что резко увеличивает количество вычислений для расчета проектной производительности. Поэтому целесообразно расчеты производить на ЭВМ.

Программа на языке АЛГОЛ для вычисления проектной производительности ММАЛ приведена далее.

```
begin integer k; p0042 (k);
begin real c1, c2, c4, c5, c3, p0, p1, p2, p3, p4; integer l, j, e, t;
      real array H, p, q, q6 [1 : k]; intger array a, n, m [1 : k];
    p0042 (m); p0042 (n); p0042 (q); p0042 (H);
    for i := 1 step 1 until k do
    begin p [i] := (1 — H [i])/H [i]; a [i] := 0; end;
    p0 := p3 := 0; go to R1;
R:  t := 1;
R0: a [i] := a [i] + 1; if a [i] ⩽ n [i] then go to R17;
    a [i] := 0; i := i + 1; if i ⩽ k then go to R0 else go to R14;
R17: t := 1; e := 0;
      for i := 1 step 1 until k do
begin l := a [i] — n [i]; if l ⩾ 0 then e := e + 1; end;
      if e > 1 then go to R else go to R1;
R1:  p1 := 1; i := 1;
R2:  c1 := e := 1; l := n [i];
R3:  if e > l then go to R4; c1 := c1 × e; e := e + 1; go to R3;
R4:  e := c2 := c4 := 1; l := a [i];
R5:  if e > l then go to R6;
    c2 := c2 × e; c4 := c4 × p [i]; e := e + 1; go to R5;
R6:  e := c3 := 1; l := n [i] — a [i];
R7:  if e > l then go to R8; c3 := c3 × e; e := e + 1; go to R7;
R8:  e := c5 := 1; l := a [i] — m [i];
R9:  if e > l then go to R10; c5 := c5 × m [i]; e := e + 1; go to R9;
R10: if a [i] > m [i] then go to R11;
    p1 := p1 × c1 × c4/(c2 × c3); go to R12;
R11: e := p4 := 1; l := m [i];
R15: if e > l then go to R16; p4 := p4 × e; e := e + 1; go to R15;
R16: p1 := p1 × c4 × c1/(p4 × c5 × c3);
R12: t := t + 1; if t ⩽ k then go to R2;
      for t := 1 step 1 until k do q6 [i] := (n [i] — a [t]) × q [i];
      p4 : 100 000; for i t = 1 step 1 until k do;
begin if q6 [i] ⩾ p4 then go to R13; p4 := q6 [t]; j := t; R13 : end;
      p0 := p0 + p1; p3 := p3 + p1 × p4; go to R;
R14: c1 := p3/p0; p0143 (c1); p0140 (0, m [1], 1, k);
    p0140 (0, n [1], 1, k); p0140 (0, q [1], 1, k);
    p0140 (0, H [1], 1, k); end; end
```

Проектная производительность для некоторых структур, рассчитанная на ЭВМ, приведена в табл. 1—22.

1. Проектная производительность ММАЛ с номинальной производительностью участков $q_1 = q_2 = 1$

Структура	η_2	η_1						Структура	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
1×1	0,70	0,538	0,567	0,597	0,623	0,649	0,675	2×1, 1×2	0,70	0,503	0,535	0,566	0,590	0,631	0,665
	0,75	0,567	0,600	0,631	0,662	0,692	0,721		0,75	0,537	0,571	0,606	0,641	0,676	0,719
	0,80	0,596	0,631	0,666	0,701	0,734	0,767		0,80	0,570	0,607	0,645	0,683	0,721	0,760
	0,85	0,623	0,662	0,701	0,739	0,776	0,813		0,85	0,603	0,643	0,684	0,725	0,766	0,808
	0,90	0,649	0,692	0,734	0,776	0,818	0,839		0,90	0,636	0,679	0,723	0,766	0,810	0,855
	0,95	0,675	0,721	0,767	0,813	0,859	0,904		0,95	0,668	0,715	0,761	0,808	0,855	0,902
3×1, 1×3	0,70	0,494	0,527	0,561	0,595	0,630	0,665	4×1	0,70	0,491	0,525	0,560	0,595	0,630	0,665
	0,75	0,528	0,565	0,601	0,638	0,675	0,712		0,75	0,526	0,563	0,600	0,637	0,670	0,712
	0,80	0,563	0,602	0,641	0,680	0,720	0,760		0,80	0,560	0,600	0,640	0,680	0,720	0,760
	0,85	0,597	0,639	0,680	0,723	0,765	0,807		0,85	0,596	0,638	0,680	0,722	0,765	0,807
	0,90	0,631	0,676	0,720	0,765	0,810	0,855		0,90	0,630	0,675	0,720	0,765	0,810	0,855
	0,95	0,666	0,713	0,760	0,807	0,855	0,902		0,95	0,665	0,712	0,760	0,807	0,855	0,902

2. *Проектная производительность ММАЛ с номинальной производительностью участков* $q_1 = q_2 = 1$

Структура	η_2	η_1						Структура	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
2×2	0,70	0,538	0,567	0,595	0,623	0,649	0,675	4×2	0,70	0,543	0,572	0,599	0,625	0,650	0,675
	0,75	0,567	0,600	0,631	0,662	0,692	0,721		0,75	0,573	0,604	0,635	0,664	0,693	0,722
	0,80	0,595	0,631	0,666	0,701	0,734	0,767		0,80	0,600	0,636	0,670	0,703	0,735	0,768
	0,85	0,623	0,662	0,701	0,739	0,776	0,813		0,85	0,627	0,666	0,703	0,741	0,777	0,814
	0,90	0,649	0,692	0,734	0,776	0,818	0,859		0,90	0,653	0,695	0,737	0,778	0,820	0,859
	0,95	0,675	0,721	0,767	0,813	0,859	0,905		0,95	0,677	0,723	0,769	0,814	0,859	0,905
3×2	0,70	0,534	0,565	0,594	0,622	0,649	0,675	3×3	0,70	0,560	0,588	0,614	0,640	0,661	0,682
	0,75	0,565	0,598	0,630	0,661	0,691	0,721		0,75	0,588	0,620	0,650	0,677	0,703	0,728
	0,80	0,594	0,603	0,666	0,700	0,734	0,767		0,80	0,614	0,649	0,683	0,715	0,745	0,773
	0,85	0,622	0,661	0,700	0,739	0,776	0,813		0,85	0,639	0,677	0,715	0,751	0,785	0,818
	0,90	0,649	0,692	0,734	0,776	0,818	0,859		0,90	0,661	0,703	0,745	0,785	0,824	0,863
	0,95	0,675	0,721	0,767	0,813	0,859	0,904		0,95	0,681	0,728	0,773	0,818	0,863	0,906
4×3	0,70	0,560	0,588	0,614	0,639	0,661	0,682	4×4	0,70	0,576	0,603	0,628	0,650	0,670	0,686
	0,75	0,588	0,619	0,649	0,677	0,703	0,728		0,75	0,603	0,634	0,663	0,689	0,712	0,732
	0,80	0,614	0,649	0,683	0,715	0,745	0,773		0,80	0,628	0,663	0,695	0,725	0,753	0,778
	0,85	0,639	0,677	0,715	0,751	0,785	0,818		0,85	0,650	0,689	0,725	0,760	0,792	0,822
	0,90	0,661	0,703	0,745	0,785	0,824	0,863		0,90	0,670	0,712	0,753	0,792	0,830	0,866
	0,95	0,681	0,728	0,773	0,818	0,863	0,906		0,95	0,685	0,732	0,778	0,822	0,866	0,908

3. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$; $n_1 = 1$; $n_2 = 1$; $n_3 = 1$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_2	η_3	η_1						η_2	η_3	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,437	0,456	0,474	0,491	0,508	0,523	0,85	0,70	0,491	0,516	0,539	0,561	0,582	0,603
	0,75	0,456	0,477	0,497	0,516	0,534	0,551		0,75	0,516	0,542	0,568	0,593	0,617	0,640
	0,80	0,474	0,497	0,518	0,539	0,558	0,577		0,80	0,538	0,568	0,596	0,624	0,650	0,676
	0,85	0,491	0,516	0,539	0,561	0,582	0,603		0,85	0,561	0,593	0,624	0,654	0,683	0,711
	0,90	0,508	0,534	0,558	0,582	0,605	0,628		0,90	0,582	0,617	0,650	0,683	0,715	0,746
	0,95	0,523	0,551	0,577	0,603	0,628	0,652		0,95	0,603	0,640	0,676	0,711	0,746	0,780
0,75	0,70	0,456	0,477	0,497	0,516	0,534	0,551	0,90	0,70	0,508	0,534	0,558	0,582	0,603	0,628
	0,75	0,477	0,500	0,521	0,542	0,562	0,581		0,75	0,534	0,562	0,590	0,617	0,643	0,668
	0,80	0,497	0,521	0,545	0,568	0,590	0,611		0,80	0,558	0,590	0,620	0,650	0,679	0,707
	0,85	0,516	0,542	0,568	0,593	0,617	0,640		0,85	0,582	0,617	0,650	0,683	0,715	0,746
	0,90	0,534	0,562	0,590	0,617	0,643	0,668		0,90	0,605	0,643	0,679	0,715	0,750	0,784
	0,95	0,551	0,581	0,611	0,640	0,668	0,695		0,95	0,628	0,668	0,707	0,746	0,784	0,822
0,80	0,70	0,474	0,497	0,518	0,539	0,558	0,577	0,95	0,70	0,523	0,551	0,577	0,603	0,628	0,652
	0,75	0,497	0,521	0,545	0,568	0,590	0,611		0,75	0,551	0,581	0,611	0,640	0,668	0,695
	0,80	0,518	0,545	0,571	0,596	0,620	0,644		0,80	0,577	0,611	0,644	0,676	0,707	0,738
	0,85	0,539	0,568	0,596	0,624	0,650	0,676		0,85	0,603	0,640	0,676	0,711	0,746	0,780
	0,90	0,558	0,590	0,620	0,650	0,679	0,707		0,90	0,628	0,668	0,707	0,746	0,784	0,822
	0,95	0,577	0,611	0,644	0,676	0,707	0,738		0,95	0,652	0,695	0,738	0,780	0,822	0,863

4. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$, $n_1 = 2$; $n_2 = 1$, $n_3 = 1$, $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,393	0,416	0,439	0,462	0,487	0,512	0,85	0,70	0,451	0,478	0,506	0,534	0,563	0,592
	0,75	0,413	0,437	0,467	0,487	0,513	0,539		0,75	0,478	0,507	0,537	0,567	0,598	0,629
	0,80	0,432	0,458	0,484	0,511	0,538	0,566		0,80	0,504	0,536	0,567	0,600	0,633	0,666
	0,85	0,451	0,478	0,506	0,534	0,563	0,592		0,85	0,530	0,563	0,597	0,632	0,667	0,702
	0,90	0,469	0,498	0,527	0,556	0,586	0,617		0,90	0,555	0,590	0,627	0,663	0,700	0,738
	0,95	0,487	0,517	0,547	0,578	0,609	0,642		0,95	0,579	0,617	0,656	0,694	0,733	0,733
0,75	0,70	0,413	0,437	0,462	0,487	0,513	0,539	0,90	0,70	0,469	0,498	0,527	0,556	0,586	0,617
	0,75	0,435	0,461	0,488	0,514	0,542	0,570		0,75	0,498	0,529	0,560	0,592	0,625	0,658
	0,80	0,457	0,485	0,513	0,541	0,570	0,600		0,80	0,527	0,560	0,594	0,628	0,663	0,693
	0,85	0,478	0,507	0,573	0,567	0,598	0,629		0,85	0,555	0,590	0,627	0,663	0,700	0,738
	0,90	0,498	0,529	0,560	0,592	0,625	0,658		0,90	0,582	0,620	0,659	0,698	0,737	0,777
	0,95	0,518	0,550	0,583	0,617	0,651	0,686		0,95	0,609	0,650	0,691	0,732	0,774	0,816
0,80	0,70	0,432	0,458	0,484	0,511	0,538	0,566	0,95	0,70	0,487	0,517	0,547	0,578	0,609	0,642
	0,75	0,457	0,585	0,513	0,541	0,570	0,600		0,75	0,518	0,550	0,583	0,617	0,651	0,686
	0,80	0,481	0,510	0,540	0,570	0,602	0,634		0,80	0,548	0,584	0,620	0,656	0,692	0,729
	0,85	0,504	0,536	0,567	0,600	0,632	0,665		0,85	0,579	0,617	0,656	0,694	0,733	0,773
	0,90	0,527	0,560	0,594	0,628	0,663	0,698		0,90	0,609	0,650	0,691	0,737	0,774	0,816
	0,95	0,549	0,584	0,620	0,656	0,692	0,729		0,95	0,639	0,682	0,726	0,770	0,815	0,859

5. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$; $n_1 = 2$; $n_2 = 2$; $n_3 = 1$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,396	0,415	0,433	0,451	0,468	0,486	0,85	0,70	0,469	0,493	0,516	0,538	0,560	0,582
	0,75	0,415	0,435	0,455	0,475	0,495	0,515		0,75	0,493	0,519	0,545	0,570	0,595	0,619
	0,80	0,433	0,455	0,477	0,500	0,522	0,544		0,80	0,516	0,545	0,573	0,601	0,630	0,656
	0,85	0,451	0,475	0,500	0,524	0,550	0,574		0,85	0,538	0,570	0,601	0,632	0,663	0,692
	0,90	0,468	0,491	0,522	0,550	0,576	0,604		0,90	0,560	0,595	0,629	0,663	0,697	0,732
	0,95	0,486	0,515	0,544	0,574	0,604	0,634		0,95	0,582	0,619	0,656	0,694	0,732	0,769
0,75	0,70	0,421	0,441	0,461	0,480	0,499	0,518	0,90	0,70	0,492	0,518	0,543	0,567	0,590	0,613
	0,75	0,441	0,463	0,485	0,507	0,528	0,550		0,75	0,518	0,546	0,574	0,601	0,627	0,653
	0,80	0,461	0,485	0,510	0,534	0,558	0,582		0,80	0,543	0,574	0,604	0,635	0,664	0,694
	0,85	0,480	0,507	0,534	0,560	0,587	0,614		0,85	0,567	0,601	0,635	0,668	0,701	0,734
	0,90	0,499	0,528	0,558	0,587	0,616	0,646		0,90	0,590	0,627	0,664	0,701	0,738	0,774
	0,95	0,518	0,550	0,582	0,614	0,646	0,679		0,95	0,613	0,653	0,694	0,734	0,774	0,814
0,80	0,70	0,455	0,467	0,488	0,509	0,530	0,550	0,95	0,70	0,516	0,543	0,569	0,595	0,620	0,644
	0,75	0,467	0,491	0,515	0,538	0,562	0,585		0,75	0,543	0,573	0,603	0,632	0,660	0,687
	0,80	0,488	0,515	0,541	0,567	0,593	0,619		0,80	0,569	0,603	0,636	0,668	0,699	0,731
	0,85	0,509	0,538	0,567	0,596	0,625	0,654		0,85	0,595	0,632	0,668	0,703	0,739	0,774
	0,90	0,530	0,562	0,593	0,625	0,657	0,689		0,90	0,620	0,660	0,699	0,739	0,778	0,817
	0,95	0,555	0,585	0,619	0,654	0,689	0,724		0,95	0,644	0,687	0,731	0,774	0,817	0,860

6. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$; $n_1 = 2$; $n_2 = 2$; $n_3 = 2$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,446	0,464	0,481	0,497	0,512	0,526	0,85	0,70	0,497	0,521	0,544	0,565	0,585	0,605
	0,75	0,464	0,484	0,503	0,521	0,538	0,553		0,75	0,521	0,547	0,573	0,597	0,620	0,641
	0,80	0,481	0,503	0,524	0,544	0,562	0,579		0,80	0,544	0,573	0,600	0,627	0,653	0,677
	0,85	0,497	0,521	0,544	0,565	0,585	0,605		0,85	0,565	0,597	0,627	0,657	0,685	0,712
	0,90	0,512	0,538	0,562	0,585	0,608	0,629		0,90	0,585	0,620	0,653	0,685	0,712	0,747
	0,95	0,526	0,553	0,579	0,605	0,629	0,652		0,95	0,605	0,641	0,677	0,712	0,747	0,781
0,75	0,70	0,464	0,484	0,503	0,521	0,538	0,553	0,90	0,70	0,512	0,538	0,562	0,585	0,608	0,629
	0,75	0,484	0,507	0,528	0,547	0,566	0,583		0,75	0,538	0,566	0,593	0,620	0,645	0,669
	0,80	0,503	0,528	0,551	0,573	0,593	0,613		0,80	0,562	0,593	0,623	0,653	0,681	0,708
	0,85	0,521	0,547	0,572	0,597	0,620	0,641		0,85	0,585	0,620	0,653	0,685	0,716	0,747
	0,90	0,538	0,566	0,593	0,620	0,645	0,669		0,90	0,608	0,645	0,681	0,716	0,751	0,785
	0,95	0,553	0,584	0,613	0,641	0,669	0,696		0,95	0,629	0,669	0,708	0,747	0,785	0,822
0,80	0,70	0,481	0,503	0,524	0,544	0,562	0,579	0,95	0,70	0,526	0,553	0,579	0,605	0,629	0,652
	0,75	0,503	0,528	0,551	0,573	0,593	0,613		0,75	0,553	0,584	0,613	0,641	0,669	0,696
	0,80	0,524	0,551	0,576	0,600	0,62 :	0,646		0,80	0,579	0,613	0,646	0,677	0,708	0,738
	0,85	0,544	0,573	0,600	0,627	0,653	0,677		0,85	0,605	0,641	0,677	0,712	0,747	0,781
	0,90	0,562	0,593	0,623	0,653	0,681	0,708		0,90	0,629	0,669	0,708	0,747	0,785	0,822
	0,95	0,579	0,613	0,646	0,677	0,708	0,738		0,95	0,652	0,696	0,738	0,781	0,822	0,864

7. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$; $n_1 = 3$; $n_2 = 1$; $n_3 = 1$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,381	0,406	0,432	0,458	0,484	0,511	0,85	0,70	0,440	0,470	0,499	0,530	0,560	0,592
	0,75	0,402	0,428	0,455	0,483	0,511	0,539		0,75	0,468	0,499	0,531	0,563	0,596	0,629
	0,80	0,421	0,449	0,478	0,507	0,536	0,566		0,80	0,494	0,528	0,562	0,596	0,631	0,666
	0,85	0,440	0,470	0,500	0,530	0,561	0,592		0,85	0,521	0,556	0,592	0,629	0,665	0,702
	0,90	0,459	0,490	0,521	0,552	0,584	0,617		0,90	0,547	0,584	0,622	0,660	0,699	0,738
	0,95	0,476	0,509	0,541	0,574	0,608	0,641		0,95	0,572	0,611	0,651	0,692	0,732	0,773
0,75	0,70	0,402	0,428	0,455	0,483	0,511	0,539	0,90	0,70	0,459	0,490	0,521	0,552	0,584	0,617
	0,75	0,424	0,453	0,481	0,510	0,540	0,570		0,75	0,488	0,521	0,555	0,589	0,623	0,657
	0,80	0,446	0,476	0,506	0,537	0,568	0,600		0,80	0,518	0,553	0,589	0,625	0,661	0,698
	0,85	0,468	0,499	0,531	0,563	0,596	0,629		0,85	0,547	0,585	0,622	0,660	0,699	0,738
	0,90	0,488	0,522	0,555	0,589	0,623	0,658		0,90	0,575	0,615	0,655	0,696	0,736	0,777
	0,95	0,509	0,543	0,578	0,614	0,649	0,685		0,95	0,604	0,646	0,688	0,730	0,773	0,816
0,80	0,70	0,421	0,449	0,478	0,507	0,536	0,566	0,95	0,70	0,476	0,509	0,541	0,574	0,608	0,641
	0,75	0,446	0,476	0,506	0,537	0,568	0,600		0,75	0,509	0,543	0,578	0,614	0,649	0,685
	0,80	0,470	0,502	0,534	0,567	0,600	0,633		0,80	0,540	0,578	0,615	0,653	0,691	0,729
	0,85	0,494	0,528	0,562	0,596	0,631	0,666		0,85	0,572	0,612	0,652	0,692	0,732	0,773
	0,90	0,518	0,553	0,589	0,625	0,661	0,698		0,90	0,604	0,646	0,688	0,730	0,773	0,816
	0,95	0,540	0,578	0,615	0,653	0,691	0,729		0,95	0,635	0,679	0,724	0,769	0,814	0,859

8. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$; $n_1 = 3$; $n_2 = 2$; $n_3 = 1$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,388	0,408	0,428	0,448	0,467	0,485	0,85	0,70	0,463	0,488	0,512	0,536	0,559	0,582
	0,75	0,406	0,428	0,450	0,472	0,493	0,514		0,75	0,487	0,514	0,541	0,568	0,594	0,619
	0,80	0,424	0,448	0,472	0,496	0,520	0,544		0,80	0,510	0,540	0,570	0,599	0,628	0,656
	0,85	0,442	0,468	0,495	0,521	0,547	0,573		0,85	0,533	0,565	0,598	0,630	0,662	0,694
	0,90	0,459	0,488	0,517	0,545	0,574	0,603		0,90	0,555	0,590	0,626	0,661	0,696	0,731
	0,95	0,476	0,508	0,539	0,570	0,602	0,634		0,95	0,576	0,615	0,653	0,692	0,730	0,769
0,75	0,70	0,423	0,435	0,456	0,477	0,498	0,518	0,90	0,70	0,487	0,524	0,540	0,565	0,589	0,613
	0,75	0,433	0,457	0,481	0,504	0,527	0,550		0,75	0,513	0,542	0,571	0,599	0,627	0,653
	0,80	0,453	0,479	0,505	0,531	0,556	0,581		0,80	0,538	0,570	0,602	0,633	0,663	0,693
	0,85	0,472	0,501	0,529	0,557	0,586	0,613		0,85	0,563	0,598	0,632	0,666	0,700	0,734
	0,90	0,491	0,522	0,553	0,584	0,615	0,646		0,90	0,586	0,624	0,662	0,700	0,737	0,774
	0,95	0,510	0,543	0,577	0,611	0,645	0,679		0,95	0,609	0,650	0,691	0,733	0,773	0,814
0,80	0,70	0,437	0,461	0,484	0,507	0,529	0,550	0,95	0,70	0,511	0,540	0,567	0,593	0,619	0,644
	0,75	0,460	0,486	0,511	0,536	0,560	0,584		0,75	0,539	0,570	0,600	0,630	0,659	0,687
	0,80	0,481	0,510	0,537	0,565	0,592	0,619		0,80	0,566	0,600	0,634	0,667	0,699	0,730
	0,85	0,502	0,533	0,564	0,594	0,624	0,654		0,85	0,592	0,630	0,666	0,703	0,738	0,774
	0,90	0,523	0,556	0,589	0,623	0,656	0,689		0,90	0,618	0,658	0,698	0,738	0,777	0,817
	0,95	0,543	0,579	0,615	0,651	0,688	0,724		0,95	0,642	0,686	0,730	0,773	0,816	0,859

9. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$; $n_1 = 3$; $n_2 = 2$; $n_3 = 2$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,441	0,461	0,479	0,496	0,511	0,526
	0,75	0,460	0,481	0,501	0,520	0,537	0,553
	0,80	0,477	0,500	0,522	0,542	0,561	0,579
	0,85	0,494	0,518	0,542	0,564	0,585	0,605
	0,90	0,509	0,535	0,560	0,584	0,607	0,629
0,75	0,70	0,460	0,481	0,501	0,520	0,537	0,553
	0,75	0,481	0,504	0,526	0,546	0,565	0,583
	0,80	0,500	0,525	0,549	0,571	0,593	0,613
	0,85	0,518	0,545	0,571	0,596	0,619	0,641
	0,90	0,535	0,564	0,592	0,619	0,644	0,669
	0,95	0,551	0,582	0,612	0,641	0,669	0,696
0,80	0,70	0,477	0,500	0,522	0,542	0,561	0,579
	0,75	0,500	0,525	0,549	0,571	0,593	0,613
	0,80	0,522	0,549	0,575	0,599	0,623	0,645
	0,85	0,542	0,571	0,599	0,626	0,652	0,677
	0,90	0,560	0,592	0,623	0,652	0,681	0,708
0,85	0,70	0,494	0,518	0,542	0,564	0,585	0,605
	0,75	0,518	0,545	0,571	0,596	0,619	0,641
	0,80	0,542	0,571	0,599	0,626	0,652	0,677
	0,85	0,564	0,595	0,626	0,656	0,685	0,712
	0,90	0,584	0,619	0,652	0,685	0,712	0,747
	0,95	0,604	0,641	0,677	0,712	0,747	0,781
0,90	0,70	0,509	0,535	0,560	0,584	0,607	0,629
	0,75	0,535	0,564	0,592	0,619	0,644	0,669
	0,80	0,560	0,592	0,623	0,652	0,681	0,708
	0,85	0,584	0,619	0,652	0,685	0,716	0,747
	0,90	0,607	0,644	0,681	0,716	0,751	0,785
	0,95	0,629	0,669	0,708	0,747	0,785	0,822
0,95	0,70	0,523	0,551	0,578	0,604	0,629	0,652
	0,75	0,551	0,582	0,618	0,641	0,669	0,696
	0,80	0,578	0,612	0,645	0,677	0,708	0,738
	0,85	0,604	0,641	0,677	0,712	0,747	0,781
	0,90	0,629	0,669	0,708	0,747	0,785	0,822
	0,95	0,652	0,695	0,738	0,780	0,822	0,864

10. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$; $n_1 = 3$; $n_2 = 3$, $n_3 = 1$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_1	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,398	0,417	0,435	0,451	0,467	0,481	0,85	0,70	0,480	0,503	0,525	0,545	0,564	0,582
	0,75	0,417	0,438	0,458	0,477	0,495	0,512		0,75	0,503	0,529	0,554	0,577	0,600	0,620
	0,80	0,435	0,458	0,480	0,502	0,523	0,543		0,80	0,525	0,554	0,582	0,609	0,634	0,658
	0,85	0,451	0,477	0,502	0,527	0,550	0,573		0,85	0,545	0,577	0,609	0,639	0,668	0,696
	0,90	0,467	0,495	0,523	0,550	0,577	0,604		0,90	0,564	0,600	0,634	0,668	0,701	0,734
	0,95	0,481	0,512	0,543	0,573	0,604	0,635		0,95	0,582	0,620	0,658	0,696	0,734	0,770
0,75	0,70	0,426	0,446	0,465	0,483	0,499	0,515	0,90	0,70	0,507	0,532	0,555	0,577	0,597	0,615
	0,75	0,446	0,468	0,490	0,510	0,530	0,548		0,75	0,532	0,559	0,586	0,611	0,634	0,656
	0,80	0,465	0,490	0,514	0,538	0,560	0,581		0,80	0,555	0,586	0,616	0,644	0,671	0,697
	0,85	0,483	0,511	0,538	0,564	0,590	0,614		0,85	0,577	0,611	0,644	0,676	0,707	0,737
	0,90	0,499	0,530	0,560	0,590	0,619	0,647		0,90	0,597	0,634	0,671	0,707	0,742	0,777
	0,95	0,515	0,548	0,581	0,614	0,647	0,680		0,95	0,615	0,656	0,697	0,737	0,777	0,816
0,80	0,70	0,453	0,474	0,495	0,514	0,532	0,548	0,95	0,70	0,533	0,560	0,585	0,608	0,629	0,648
	0,75	0,474	0,499	0,522	0,544	0,565	0,584		0,75	0,560	0,590	0,618	0,644	0,669	0,692
	0,80	0,495	0,522	0,548	0,573	0,597	0,620		0,80	0,585	0,618	0,649	0,679	0,708	0,735
	0,85	0,514	0,544	0,573	0,601	0,629	0,655		0,85	0,608	0,644	0,679	0,714	0,746	0,778
	0,90	0,532	0,565	0,597	0,629	0,660	0,690		0,90	0,629	0,669	0,708	0,746	0,784	0,820
	0,95	0,548	0,584	0,620	0,655	0,690	0,725		0,95	0,648	0,692	0,735	0,778	0,820	0,861

11. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$; $n_1 = 3$; $n_2 = 3$; $n_3 = 2$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,452	0,470	0,487	0,502	0,515	0,526	0,85	0,70	0,512	0,535	0,556	0,578	0,539	0,609
	0,75	0,470	0,490	0,509	0,526	0,541	0,554		0,75	0,535	0,561	0,585	0,607	0,627	0,645
	0,80	0,487	0,509	0,529	0,548	0,565	0,580		0,80	0,556	0,585	0,611	0,636	0,660	0,681
	0,85	0,502	0,526	0,548	0,569	0,588	0,606		0,85	0,576	0,607	0,636	0,664	0,691	0,716
	0,90	0,515	0,541	0,565	0,588	0,610	0,630		0,90	0,593	0,627	0,660	0,691	0,721	0,749
	0,95	0,526	0,554	0,580	0,606	0,630	0,653		0,95	0,609	0,645	0,681	0,716	0,749	0,782
0,75	0,70	0,473	0,493	0,511	0,528	0,542	0,555	0,90	0,70	0,529	0,554	0,577	0,598	0,617	0,634
	0,75	0,493	0,515	0,535	0,554	0,571	0,585		0,75	0,554	0,581	0,608	0,632	0,654	0,674
	0,80	0,511	0,535	0,558	0,579	0,598	0,615		0,80	0,577	0,608	0,636	0,664	0,689	0,713
	0,85	0,528	0,554	0,579	0,602	0,623	0,643		0,85	0,598	0,632	0,664	0,694	0,723	0,751
	0,90	0,542	0,571	0,598	0,623	0,648	0,671		0,90	0,617	0,654	0,689	0,723	0,756	0,788
	0,95	0,555	0,585	0,615	0,643	0,671	0,697		0,95	0,634	0,674	0,713	0,751	0,788	0,824
0,80	0,70	0,493	0,515	0,534	0,552	0,568	0,582	0,95	0,70	0,545	0,572	0,596	0,619	0,640	0,658
	0,75	0,515	0,539	0,561	0,581	0,599	0,616		0,75	0,572	0,601	0,629	0,655	0,679	0,701
	0,80	0,534	0,561	0,585	0,608	0,629	0,648		0,80	0,596	0,629	0,660	0,690	0,718	0,743
	0,85	0,552	0,581	0,608	0,634	0,658	0,680		0,85	0,619	0,655	0,690	0,723	0,755	0,785
	0,90	0,568	0,599	0,629	0,658	0,685	0,710		0,90	0,640	0,680	0,718	0,755	0,791	0,826
	0,95	0,582	0,616	0,648	0,680	0,710	0,739		0,95	0,685	0,701	0,743	0,785	0,826	0,866

12. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$; $n_1 = 3$; $n_2 = 3$; $n_3 = 3$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,482	0,501	0,517	0,531	0,543	0,553	0,85	0,70	0,531	0,555	0,577	0,596	0,613	0,627
	0,75	0,501	0,521	0,539	0,555	0,569	0,580		0,75	0,555	0,581	0,605	0,627	0,646	0,663
	0,80	0,517	0,539	0,559	0,577	0,592	0,604		0,80	0,577	0,605	0,632	0,656	0,678	0,698
	0,85	0,531	0,555	0,577	0,596	0,613	0,627		0,85	0,596	0,627	0,656	0,683	0,708	0,731
	0,90	0,543	0,569	0,592	0,613	0,631	0,648		0,90	0,613	0,646	0,678	0,708	0,736	0,762
	0,95	0,553	0,580	0,604	0,627	0,648	0,666		0,95	0,627	0,663	0,698	0,731	0,762	0,791
0,75	0,70	0,501	0,521	0,539	0,555	0,569	0,580	0,90	0,70	0,543	0,569	0,592	0,613	0,631	0,648
	0,75	0,521	0,544	0,564	0,581	0,597	0,609		0,75	0,569	0,597	0,623	0,646	0,668	0,687
	0,80	0,539	0,564	0,586	0,605	0,622	0,637		0,80	0,592	0,623	0,652	0,678	0,703	0,725
	0,85	0,555	0,581	0,605	0,627	0,646	0,663		0,85	0,623	0,646	0,678	0,708	0,736	0,762
	0,90	0,569	0,597	0,623	0,646	0,668	0,687		0,90	0,631	0,668	0,703	0,736	0,768	0,797
	0,95	0,580	0,609	0,637	0,663	0,687	0,709		0,95	0,647	0,687	0,725	0,762	0,797	0,831
0,80	0,70	0,517	0,539	0,559	0,577	0,592	0,604	0,95	0,70	0,553	0,580	0,604	0,627	0,648	0,666
	0,75	0,539	0,564	0,586	0,605	0,623	0,637		0,75	0,580	0,609	0,637	0,663	0,687	0,708
	0,80	0,559	0,586	0,610	0,632	0,652	0,669		0,80	0,604	0,637	0,669	0,698	0,725	0,750
	0,85	0,577	0,605	0,632	0,656	0,678	0,698		0,85	0,627	0,663	0,698	0,731	0,762	0,791
	0,90	0,592	0,623	0,652	0,678	0,702	0,725		0,90	0,648	0,687	0,725	0,762	0,797	0,831
	0,95	0,604	0,637	0,669	0,698	0,725	0,750		0,95	0,666	0,709	0,750	0,791	0,831	0,869

13. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 8$; $n_1 = 4$; $n_2 = 1$; $n_3 = 1$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,378	0,404	0,431	0,458	0,484	0,511	0,85	0,70	0,437	0,468	0,498	0,529	0,560	0,592
	0,75	0,398	0,426	0,454	0,482	0,510	0,539		0,75	0,465	0,497	0,530	0,563	0,596	0,629
	0,80	0,418	0,447	0,477	0,506	0,536	0,566		0,80	0,492	0,526	0,561	0,596	0,631	0,666
	0,85	0,437	0,468	0,498	0,529	0,560	0,592		0,85	0,518	0,555	0,591	0,628	0,665	0,702
	0,90	0,456	0,487	0,520	0,552	0,584	0,617		0,90	0,544	0,583	0,621	0,660	0,699	0,738
	0,95	0,474	0,507	0,540	0,574	0,607	0,641		0,95	0,570	0,610	0,651	0,691	0,732	0,773
0,75	0,70	0,398	0,426	0,454	0,482	0,510	0,539	0,90	0,70	0,456	0,487	0,520	0,552	0,584	0,617
	0,75	0,421	0,450	0,480	0,510	0,540	0,570		0,75	0,487	0,520	0,554	0,588	0,623	0,657
	0,80	0,443	0,473	0,505	0,537	0,568	0,600		0,80	0,515	0,551	0,588	0,624	0,661	0,698
	0,85	0,465	0,497	0,530	0,563	0,596	0,629		0,85	0,544	0,583	0,621	0,660	0,699	0,738
	0,90	0,486	0,520	0,554	0,588	0,623	0,657		0,90	0,573	0,614	0,654	0,695	0,736	0,777
	0,95	0,506	0,541	0,577	0,613	0,649	0,685		0,95	0,602	0,645	0,687	0,730	0,773	0,816
0,80	0,70	0,418	0,447	0,477	0,506	0,536	0,566	0,95	0,70	0,474	0,507	0,540	0,574	0,607	0,641
	0,75	0,443	0,474	0,505	0,537	0,568	0,600		0,75	0,506	0,541	0,577	0,613	0,649	0,685
	0,80	0,468	0,500	0,533	0,566	0,600	0,633		0,80	0,538	0,576	0,614	0,652	0,690	0,729
	0,85	0,492	0,526	0,561	0,596	0,631	0,666		0,85	0,570	0,610	0,651	0,691	0,732	0,773
	0,90	0,515	0,551	0,588	0,624	0,661	0,698		0,90	0,602	0,645	0,687	0,730	0,773	0,816
	0,95	0,538	0,576	0,614	0,652	0,691	0,729		0,95	0,634	0,679	0,724	0,769	0,814	0,859

14. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$, $n_1 = 4$, $n_2 = 2$, $n_3 = 1$, $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,392	0,412	0,431	0,450	0,468	0,486	0,85	0,70	0,469	0,493	0,516	0,539	0,560	0,582
	0,75	0,410	0,432	0,453	0,474	0,495	0,515		0,75	0,492	0,519	0,545	0,570	0,595	0,619
	0,80	0,426	0,451	0,475	0,498	0,521	0,544		0,80	0,514	0,544	0,573	0,601	0,629	0,657
	0,85	0,443	0,470	0,496	0,522	0,548	0,574		0,85	0,536	0,568	0,600	0,632	0,663	0,694
	0,90	0,459	0,488	0,517	0,546	0,575	0,603		0,90	0,556	0,592	0,627	0,662	0,697	0,732
	0,95	0,475	0,507	0,539	0,570	0,602	0,634		0,95	0,576	0,615	0,654	0,692	0,731	0,769
0,75	0,70	0,418	0,439	0,460	0,480	0,499	0,518	0,90	0,70	0,494	0,519	0,544	0,568	0,591	0,613
	0,75	0,437	0,461	0,484	0,506	0,528	0,550		0,75	0,492	0,519	0,545	0,570	0,595	0,619
	0,80	0,456	0,482	0,507	0,533	0,557	0,582		0,80	0,543	0,575	0,605	0,535	0,665	0,694
	0,85	0,474	0,503	0,531	0,559	0,586	0,614		0,85	0,566	0,601	0,635	0,668	0,701	0,734
	0,90	0,492	0,523	0,554	0,585	0,616	0,642		0,90	0,589	0,626	0,664	0,701	0,738	0,774
	0,95	0,509	0,543	0,577	0,611	0,645	0,679		0,95	0,610	0,651	0,692	0,733	0,774	0,814
0,80	0,70	0,444	0,462	0,488	0,509	0,530	0,550	0,95	0,70	0,519	0,546	0,572	0,596	0,621	0,644
	0,75	0,465	0,490	0,514	0,538	0,561	0,584		0,75	0,456	0,576	0,605	0,633	0,661	0,668
	0,80	0,485	0,513	0,540	0,567	0,593	0,619		0,80	0,572	0,605	0,637	0,669	0,700	0,731
	0,85	0,505	0,535	0,565	0,595	0,625	0,654		0,85	0,597	0,633	0,669	0,705	0,739	0,774
	0,90	0,524	0,557	0,590	0,624	0,656	0,689		0,90	0,621	0,661	0,700	0,739	0,778	0,817
	0,95	0,543	0,579	0,615	0,652	0,688	0,724		0,95	0,644	0,687	0,730	0,774	0,817	0,860

15. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$; $n_1 = 4$; $n_2 = 2$; $n_3 = 2$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,453	0,470	0,486	0,500	0,514	0,526	0,85	0,70	0,505	0,527	0,548	0,568	0,587	0,605
	0,75	0,472	0,491	0,508	0,524	0,539	0,554		0,75	0,529	0,554	0,577	0,600	0,621	0,648
	0,80	0,489	0,510	0,529	0,547	0,564	0,580		0,80	0,551	0,579	0,605	0,630	0,654	0,678
	0,85	0,505	0,527	0,548	0,568	0,586	0,605		0,85	0,573	0 603	0,632	0,659	0,686	0,713
	0,90	0,519	0,543	0,566	0,588	0,609	0,629		0,90	0,592	0,625	0,657	0,688	0,718	0,747
	0,95	0,532	0,558	0,583	0,607	0,630	0,653		0,95	0,611	0,646	0,681	0,715	0,748	0,781
0,75	0,70	0,472	0,491	0,508	0,524	0,539	0,554	0,90	0,70	0,519	0,543	0,566	0,588	0,609	0,629
	0,75	0,492	0,513	0,532	0,551	0,567	0,584		0,75	0,545	0,572	0,598	0,622	0,646	0,669
	0,80	0,511	0,534	0,556	0,576	0,595	0,613		0,80	0,569	0,599	0,628	0,655	0,682	0,709
	0,85	0,529	0,554	0,577	0,600	0,621	0,642		0,85	0,592	0,625	0,657	0,688	0,718	0,747
	0,90	0,545	0,572	0,598	0,622	0,646	0,669		0,90	0,614	0,650	0,685	0,719	0,752	0,785
	0,95	0,560	0,589	0,617	0,644	0,670	0,696		0,95	0,634	0,673	0,711	0,749	0,786	0,823
0,80	0,70	0,489	0,510	0,529	0,547	0,564	0,580	0,95	0,70	0,532	0,558	0,583	0,607	0,630	0,653
	0,75	0,511	0,534	0,556	0,576	0,595	0,613		0,75	0,560	0,589	0,617	0,644	0,670	0,696
	0,80	0,532	0,557	0,581	0,603	0,625	0,646		0,80	0,586	0,618	0,649	0,680	0,709	0,739
	0,85	0,551	0,579	0,605	0,630	0,654	0,678		0,85	0,611	0,646	0,681	0,715	0,748	0,781
	0,90	0,569	0,599	0,628	0,655	0,682	0,709		0,90	0,634	0,673	0,711	0,749	0,786	0,823
	0,95	0,586	0,618	0,649	0,680	0,709	0,739		0,95	0,656	0,699	0,741	0,782	0,823	0,864

16. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$ $n_1 = 4$, $n_2 = 3$, $n_3 = 1$, $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_0		η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,396	0,415	0,434	0,451	0,467	0,481	0,85	0,70	0,478	0,502	0,524	0,545	0,564	0,582
	0,75	0,414	0,436	0,457	0,476	0,495	0,512		0,75	0,502	0,528	0,553	0,577	0,599	0,620
	0,80	0,432	0,456	0,479	0,502	0,523	0,543		0,80	0,523	0,553	0,581	0,608	0,634	0,658
	0,85	0,449	0,475	0,501	0,526	0,550	0,573		0,85	0,544	0,576	0,608	0,639	0,668	0,696
	0,90	0,464	0,493	0,522	0,550	0,577	0,604		0,90	0,563	0,599	0,634	0,668	0,701	0,734
	0,95	0,478	0,510	0,542	0,573	0,604	0,635		0,95	0,580	0,619	0,656	0,696	0,733	0,771
0,75	0,70	0,423	0,444	0,464	0,482	0,499	0,515	0,90	0,70	0,506	0,531	0,555	0,577	0,597	0,615
	0,75	0,444	0,467	0,489	0,510	0,530	0,548		0,75	0,530	0,559	0,585	0,611	0,634	0,656
	0,80	0,463	0,489	0,513	0,537	0,560	0,581		0,80	0,554	0,585	0,615	0,644	0,671	0,697
	0,85	0,480	0,509	0,537	0,564	0,589	0,614		0,85	0,579	0,610	0,644	0,676	0,707	0,737
	0,90	0,497	0,528	0,559	0,589	0,619	0,647		0,90	0,596	0,634	0,671	0,707	0,742	0,777
	0,95	0,512	0,546	0,580	0,614	0,647	0,680		0,95	0,614	0,655	0,696	0,737	0,777	0,816
0,80	0,7	0,451	0,473	0,494	0,514	0,532	0,548	0,95	0,70	0,533	0,559	0,584	0,608	0,629	0,648
	0,75	0,472	0,497	0,521	0,544	0,564	0,584		0,75	0,559	0,589	0,618	0,644	0,669	0,692
	0,80	0,493	0,521	0,547	0,573	0,597	0,620		0,80	0,584	0,617	0,649	0,679	0,708	0,735
	0,85	0,512	0,543	0,572	0,601	0,629	0,655		0,85	0,607	0,644	0,679	0,713	0,746	0,778
	0,90	0,530	0,563	0,596	0,628	0,660	0,690		0,90	0,629	0,669	0,708	0,746	0,783	0,820
	0,95	0,546	0,583	0,619	0,655	0,690	0,725		0,95	0,648	0,692	0,735	0,777	0,820	0,861

17. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$, $n_1 = 4$, $n_2 = 3$, $n_3 = 2$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,459	0,476	0,491	0,504	0,516	0,526	0,85	0,70	0,516	0,538	0,559	0,577	0,594	0,609
	0,75	0,477	0,496	0,513	0,528	0,542	0,554		0,75	0,539	0,564	0,587	0,608	0,628	0,646
	0,80	0,494	0,515	0,534	0,551	0,567	0,581		0,80	0,561	0,589	0,614	0,638	0,661	0,681
	0,85	0,510	0,532	0,553	0,572	0,590	0,606		0,85	0,581	0,611	0,639	0,666	0,692	0,716
	0,90	0,523	0,547	0,570	0,591	0,612	0,631		0,90	0,598	0,631	0,663	0,693	0,722	0,750
	0,95	0,574	0,561	0,585	0,609	0,632	0,654		0,95	0,614	0,650	0,684	0,718	0,750	0,782
0,75	0,70	0,479	0,498	0,515	0,530	0,543	0,555	0,90	0,70	0,532	0,556	0,579	0,599	0,618	0,634
	0,75	0,500	0,520	0,539	0,556	0,572	0,553		0,75	0,557	0,584	0,609	0,633	0,654	0,674
	0,80	0,518	0,541	0,562	0,581	0,599	0,615		0,80	0,580	0,610	0,638	0,665	0,690	0,713
	0,85	0,535	0,560	0,583	0,605	0,629	0,644		0,85	0,602	0,634	0,666	0,696	0,724	0,751
	0,90	0,549	0,576	0,602	0,626	0,649	0,671		0,90	0,621	0,657	0,691	0,725	0,757	0,788
	0,95	0,562	0,591	0,619	0,646	0,672	0,697		0,95	0 638	0,677	0,715	0,752	0,789	0,824
0,80	0,70	0,498	0,519	0,537	0,554	0,569	0,582	0 95	0,70	0,547	0,573	0,597	0,620	0,640	0,658
	0,75	0,520	0,543	0,564	0,583	0,600	0,616		0,75	0,573	0,603	0,630	0,656	0,679	0,701
	0,80	0,540	0,565	0,589	0,610	0,630	0,649		0,80	0,598	0,631	0,661	0,690	0,718	0,744
	0,85	0,558	0,586	0,612	0,636	0,659	0,680		0,85	0,621	0,657	0,691	0,724	0,755	0,785
	0,90	0,575	0,605	0,633	0,660	0,686	0,711		0,90	0,642	0,681	0,719	0,756	0,791	0,826
	0,95	0,589	0,621	0,652	0,682	0,712	0,740		0,95	0,660	0,703	0,745	0,786	0,826	0,866

18 Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$, $n_1 = 4$ $n_2 = 3$, $n_3 = 3$, $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,482	0,500	0,517	0,531	0,543	0,553	0,85	0,70	0,531	0,555	0,577	0,596	0,613	0,627
	0,75	0,500	0,521	0,539	0,555	0,569	0,580		0,75	0,555	0,581	0,605	0,627	0,646	0,663
	0,80	0,517	0,539	0,559	0,577	0,592	0,604		0,80	0,576	0,605	0,632	0,656	0,678	0,698
	0,85	0,531	0,555	0,577	0,596	0,613	0,627		0,85	0,596	0,627	0,656	0,683	0,708	0,731
	0,90	0,543	0,568	0,592	0,613	0,631	0,648		0,90	0,613	0,646	0,678	0,708	0,736	0,762
	0,95	0,553	0,579	0,604	0,627	0,648	0,666		0,95	0,627	0,663	0,698	0,731	0,762	0,791
0,75	0,70	0,500	0,521	0,539	0,555	0,569	0,580	0,90	0,70	0,543	0,568	0,592	0,613	0,631	0,648
	0,75	0,521	0,543	0,563	0,581	0,597	0,609		0,75	0,568	0,597	0,623	0,646	0,668	0,687
	0,80	0,539	0,563	0,586	0,605	0,623	0,637		0,80	0,592	0,623	0,651	0,678	0,703	0,725
	0,85	0,555	0,581	0,605	0,627	0,646	0,663		0,85	0,613	0,646	0,678	0,708	0,736	0,762
	0,90	0,568	0,597	0,623	0,646	0,668	0,687		0,90	0,631	0,668	0,703	0,736	0,768	0,797
	0,95	0,579	0,609	0,637	0,663	0,687	0,709		0,95	0,648	0,687	0,725	0,762	0,797	0,831
0,80	0,70	0,517	0,539	0,559	0,577	0,592	0,604	0,95	0,70	0,553	0,579	0,604	0,627	0,648	0,666
	0,75	0,539	0,563	0,586	0,605	0,623	0,637		0,75	0,579	0,609	0,637	0,663	0,687	0,709
	0,80	0,559	0,586	0,610	0,632	0,651	0,669		0,80	0,604	0,637	0,668	0,698	0,725	0,750
	0,85	0,577	0,605	0,632	0,656	0,678	0,698		0,85	0,627	0,663	0,698	0,731	0,762	0,791
	0,90	0,592	0,623	0,651	0,678	0,703	0,725		0,90	0,648	0,687	0,725	0,762	0,797	0,831
	0,95	0,604	0,637	0,668	0,698	0,725	0,750		0,95	0,666	0,709	0,750	0,791	0,831	0,869

19. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$; $n_1 = 4$; $n_2 = 4$; $n_3 = 1$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_2	η_3	η_1						η_2	η_3	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,405	0,424	0,441	0,457	0,470	0,482	0,85	0,70	0,491	0,514	0,535	0,553	0,570	0,584
	0,75	0,424	0,445	0,465	0,483	0,499	0,513		0,75	0,514	0,540	0,564	0,586	0,606	0,623
	0,80	0,441	0,465	0,487	0,508	0,527	0,545		0,80	0,535	0,564	0,591	0,617	0,640	0,661
	0,85	0,457	0,483	0,508	0,532	0,555	0,576		0,85	0,554	0,586	0,617	0,646	0,674	0,699
	0,90	0,470	0,499	0,527	0,555	0,581	0,606		0,90	0,570	0,606	0,640	0,674	0,706	0,736
	0,95	0,482	0,513	0,545	0,576	0,606	0,636		0,95	0,584	0,623	0,661	0,699	0,736	0,772
0,75	0,70	0,434	0,454	0,472	0,489	0,503	0,516	0,90	0,70	0,520	0,544	0,566	0,586	0,603	0,618
	0,75	0,454	0,477	0,498	0,517	0,535	0,550		0,75	0,514	0,540	0,564	0,586	0,606	0,623
	0,80	0,472	0,498	0,522	0,544	0,565	0,584		0,80	0,566	0,597	0,626	0,653	0,678	0,700
	0,85	0,489	0,517	0,544	0,570	0,594	0,617		0,85	0,586	0,620	0,653	0,684	0,713	0,740
	0,90	0,503	0,535	0,565	0,594	0,623	0,650		0,90	0,603	0,641	0,678	0,713	0,747	0,779
	0,95	0,516	0,550	0,584	0,617	0,647	0,684		0,95	0,618	0,660	0,700	0,740	0,779	0,818
0,80	0,70	0,463	0,484	0,503	0,521	0,537	0,550	0,95	0,70	0,548	0,574	0,597	0,618	0,637	0,652
	0,75	0,484	0,508	0,531	0,552	0,570	0,587		0,75	0,574	0,603	0,630	0,655	0,677	0,696
	0,80	0,503	0,531	0,557	0,581	0,603	0,623		0,80	0,597	0,630	0,661	0,689	0,715	0,739
	0,85	0,521	0,552	0,581	0,608	0,534	0,658		0,85	0,618	0,655	0,689	0,722	0,753	0,781
	0,90	0,537	0,570	0,603	0,634	0,664	0,693		0,90	0,637	0,677	0,715	0,753	0,789	0,823
	0,95	0,550	0,587	0,623	0,658	0,693	0,727		0,95	0,652	0,696	0,739	0,781	0,823	0,863

20. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$, $n_1 = 4$; $n_2 = 4$, $n_3 = 2$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,475	0,491	0,506	0,518	0,529	0,537	0,85	0,70	0,533	0,555	0,574	0,591	0,605	0,618
	0,75	0,491	0,510	0,526	0,541	0,553	0,563		0,75	0,555	0,579	0,601	0,621	0,638	0,653
	0,80	0,506	0,525	0,545	0,561	0,576	0,588		0,80	0,574	0,601	0,626	0,649	0,670	0,688
	0,85	0,518	0,541	0,561	0,580	0,597	0,612		0,85	0,591	0,621	0,649	0,675	0,699	0,721
	0,90	0,529	0,553	0,576	0,597	0,616	0,634		0,90	0,605	0,638	0,670	0,699	0,627	0,753
	0,95	0,537	0,563	0,588	0,612	0,634	0,655		0,95	0,618	0,653	0,688	0,721	0,753	0,784
0,75	0,70	0,496	0,514	0,530	0,544	0,556	0,565	0,90	0,70	0,549	0,573	0,594	0,612	0,628	0,642
	0,75	0,514	0,535	0,553	0,569	0,583	0,595		0,75	0,573	0,599	0,623	0,645	0,664	0,681
	0,80	0,530	0,553	0,573	0,592	0,608	0,622		0,80	0,594	0,624	0,651	0,676	0,699	0,719
	0,85	0,544	0,569	0,592	0,613	0,632	0,649		0,85	0,612	0,645	0,676	0,705	0,731	0,756
	0,90	0,555	0,583	0,608	0,632	0,654	0,674		0,90	0,628	0,664	0,699	0,781	0,762	0,791
	0,95	0,565	0,595	0,622	0,649	0,674	0,698		0,95	0,642	0,681	0,719	0,756	0,791	0,826
0,80	0,70	0,515	0,535	0,553	0,568	0,581	0,592	0,95	0,70	0,564	0,589	0,612	0,632	0,650	0,665
	0,75	0,535	0,558	0,578	0,596	0,611	0,625		0,75	0,589	0,618	0,644	0,668	0,689	0,707
	0,80	0,553	0,578	0,601	0,621	0,639	0,656		0,80	0,612	0,644	0,674	0,701	0,726	0,749
	0,85	0,568	0,596	0,621	0,644	0,666	0,685		0,85	0,632	0,668	0,701	0,733	0,762	0,789
	0,90	0,581	0,611	0,639	0,666	0,691	0,714		0,90	0,645	0,689	0,726	0,762	0,797	0,829
	0,95	0,592	0,624	0,656	0,685	0,714	0,741		0,95	0,665	0,707	0,749	0,789	0,829	0,867

21. Проектная производительность ММАЛ с параметрами $k = 3$; $n_1 = 4$; $n_2 = 4$; $n_3 = 8$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3	η_2	η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,490	0,508	0,523	0,536	0,546	0,554	0,85	0,70	0,543	0,566	0,586	0,604	0,618	0,630
	0,75	0,508	0,528	0,545	0,559	0,572	0,581		0,75	0,562	0,592	0,615	0,635	0,588	0,663
	0,80	0,523	0,545	0,564	0,581	0,595	0,606		0,80	0,586	0,615	0,640	0,663	0,683	0,701
	0,85	0,536	0,559	0,581	0,599	0,615	0,628		0,85	0,604	0,635	0,663	0,689	0,713	0,733
	0,90	0,546	0,572	0,595	0,615	0,633	0,649		0,90	0,618	0,652	0,683	0,713	0,740	0,764
	0,95	0,554	0,581	0,606	0,628	0,648	0,666		0,95	0,630	0,666	0,701	0,733	0,764	0,792
0,75	0,70	0,510	0,529	0,546	0,561	0,573	0,582	0,90	0,70	0,557	0,581	0,603	0,622	0,638	0,651
	0,75	0,529	0,551	0,570	0,587	0,601	0,611		0,75	0,581	0,608	0,633	0,655	0,674	0,691
	0,80	0,546	0,570	0,592	0,610	0,626	0,639		0,80	0,603	0,633	0,661	0,686	0,709	0,728
	0,85	0,561	0,587	0,610	0,631	0,649	0,665		0,85	0,622	0,655	0,686	0,715	0,741	0,765
	0,90	0,573	0,601	0,626	0,649	0,670	0,688		0,90	0,638	0,674	0,709	0,741	0,772	0,799
	0,95	0,582	0,611	0,639	0,665	0,688	0,709		0,95	0,651	0,691	0,728	0,765	0,799	0,832
0,80	0,70	0,528	0,549	0,567	0,583	0,596	0,607	0,95	0,70	0,568	0,594	0,617	0,637	0,655	0,670
	0,75	0,549	0,573	0,594	0,612	0,623	0,640		0,75	0,594	0,623	0,649	0,673	0,695	0,713
	0,80	0,567	0,594	0,617	0,638	0,556	0,671		0,80	0,617	0,649	0,679	0,707	0,732	0,754
	0,85	0,583	0,612	0,638	0,661	0,682	0,700		0,85	0,637	0,673	0,707	0,739	0,768	0,795
	0,90	0,596	0,627	0,656	0,682	0,706	0,727		0,90	0,655	0,694	0,732	0,768	0,802	0,834
	0,95	0,607	0,640	0,671	0,700	0,727	0,751		0,95	0,670	0,713	0,745	0,795	0,834	0,871

22. *Проектная производительность ММАЛ с параметрами* $k = 3$; $n_1 = 4$; $n_2 = 4$; $n_3 = 4$; $q_1 = q_2 = q_3 = 1$

η_3	η_2	η_1						η_3		η_1					
		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,70	0,70	0,509	0,527	0,543	0,555	0,565	0,572	0,85	0,70	0,555	0,579	0,599	0,617	0,631	0,643
	0,75	0,527	0,547	0,564	0,579	0,590	0,598		0,75	0,579	0,605	0,628	0,648	0,665	0,679
	0,80	0,543	0,564	0,583	0,599	0,612	0,622		0,80	0,599	0,628	0,654	0,677	0,697	0,713
	0,85	0,555	0,579	0,599	0,617	0,631	0,643		0,85	0,617	0,648	0,677	0,703	0,725	0,745
	0,90	0,565	0,590	0,612	0,631	0,647	0,660		0,90	0,631	0,665	0,697	0,725	0,751	0,774
	0,95	0,572	0,598	0,622	0,643	0,660	0,675		0,95	0,643	0,679	0,713	0,745	0,774	0,800
0,75	0,70	0,527	0,547	0,564	0,579	0,590	0,598	0,90	0,70	0,565	0,590	0,612	0,631	0,647	0,660
	0,75	0,547	0,569	0,589	0,605	0,618	0,628		0,75	0,590	0,618	0,643	0,665	0,684	0,700
	0,80	0,564	0,587	0,601	0,628	0,643	0,655		0,80	0,612	0,643	0,671	0,697	0,719	0,738
	0,85	0,579	0,605	0,628	0,648	0,665	0,679		0,85	0,631	0,665	0,697	0,725	0,751	0,774
	0,90	0,590	0,618	0,643	0,665	0,684	0,700		0,90	0,647	0,684	0,719	0,751	0,780	0,807
	0,95	0,598	0,628	0,655	0,679	0,700	0,718		0,95	0,660	0,700	0,738	0,774	0,807	0,838
0,80	0,70	0,543	0,564	0,583	0,599	0,612	0,622	0,95	0,70	0,572	0,598	0,622	—	—	0,675
	0,75	0,564	0,589	0,610	0,628	0,643	0,655		0,75	0,598	0,628	0,655	0,679	0,700	0,718
	0,80	0,583	0,610	0,634	0,654	0,671	0,685		0,80	0,622	0,653	0,685	0,713	0,738	0,760
	0,85	0,599	0,628	0,654	0,677	0,697	0,713		0,85	0,643	0,679	0,713	0,745	0,774	0,800
	0,90	0,612	0,643	0,671	0,697	0,719	0,738		0,90	0,660	0,700	0,738	0,774	0,807	0,838
	0,95	0,622	0,655	0,685	0,712	0,738	0,760		0,95	0,675	0,718	0,760	0,800	0,838	0,874

Для пользования программой исходные данные подготовляют и вводят в ЭВМ в следующей последовательности: 1) количество участков ММАЛ (значение k); 2) количество наладчиков в каждом участке ММАЛ (значение каждой компоненты вектора $\{m_1, m_2, \ldots, m_k\}$); 3) количество потоков в каждом участке ММАЛ (значение каждой компоненты вектора $\{n_1, n_2, \ldots, n_k\}$); 4) цикловую производительность одного потока каждого участка (значение каждой компоненты вектора $\{q_1, q_2, \ldots, q_k\}$; 5) надежность одного потока каждого участка (значение каждой компоненты вектора $\{\eta_1, \eta_2, \ldots, \eta_k\}$).

Например, для рассмотренного примера исходные данные расчета подготовляют в следующем виде: 1) 3 (количество участков); 2) 2; 2; 2 (значение компонент вектора $\{m_1, m_2, m_3\}$); 3) 2; 2; 2 (значение компонент вектора $\{n_1, n_2, n_3\}$); 4) 1; 1; 1 (значение компонент вектора $\{q_1, q_2, q_3\}$); 5) 0,8; 0,8; 0,8 (значение компонент вектора $\{\eta_1, \eta_2, \eta_3\}$).

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Основные положения по созданию автоматизированных систем технической подготовки производства (АСТПП). АСТПП подразделяют на конструкторскую и технологическую подготовки В конструкторскую подготовку входит управление процессом конструирования, разработка технических заданий, эскизное и рабочее проектирование, использование ведомственных нормалей и стандартов, создание конструкторской документации и ее изменение в период освоения.

В технологическую подготовку включают управление технологической подготовкой, отработку технологичности, создание производственной структуры, проектирование технологического процесса с приспособлениями и специальными инструментами, изготовление и внедрение их, нормализацию и стандартизацию. Таким образом, на основе анализа конструкторских и технологических параметров создают аналитическую информацию, исходную для решения минимизации приведенных затрат при внедрении АСТПП, имея в виду улучшение качества и других технических показателей изделия. На рис. 8 приведена информационная структура процесса проектирования. В настоящее время с помощью ЭВМ можно комплексно решить задачи технической подготовки производства.

АСТПП создают как комплексную человеко-машинную систему; она представляет собой совокупность ряда подсистем. На рис. 9 в качестве примера приведена схема рабочего процесса в АСТПП.

Для эффективного функционирования АСТПП должна иметь информационный базис, который обеспечивает наличие научно-технических и экономических данных. В свою очередь, информационный базис должен пополняться с изменением внешней среды. Основной источник таких изменений — производственный процесс, и именно через него должна замыкаться главная обратная связь при принятии решения в системе. Такое пополнение информационного базиса позволяет отображать в принимаемых решениях достигнутый прогресс в технологии с учетом производственного опыта и известных ограничений, что является необходимым условием развития и совершенствования

системы. На рис. 10 представлена одна из возможных схем, отражающая наиболее существенные с этой точки зрения связи с внешней средой.

На рис. 11 приведена функциональная схема рабочего процесса АСТПП.

Создание автоматизированных систем технической подготовки производства предполагает использование в них информационно-

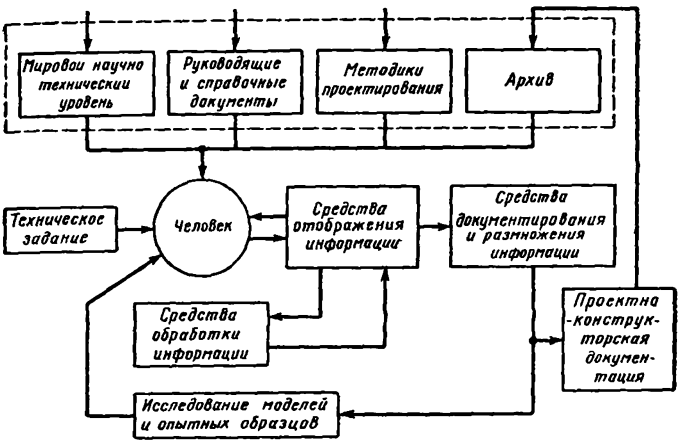


Рис. 8. Информационная структура процесса проектирования

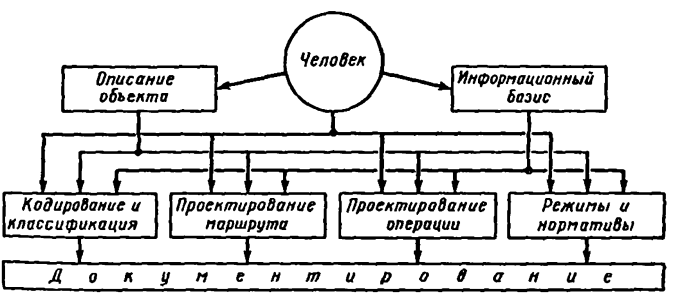


Рис. 9. Схема рабочего процесса в АСТПП

вычислительных систем (ИВС) для решения следующих задач: объединения различных подсистем и процессов в единую информационную систему; автоматизации сбора, обработки и распределения информации в целях управления. Отличительная черта проектно-конструкторских задач — неполная входная информация для их решения. Это означает, что выходные данные этих задач содержат значительно больше сведений об объекте проектирования, чем их содержалось в задании на проектирование. Недостающая информация в АСТПП должна поступать из окружающей среды, т. е. должна определяться состоянием и культурой производства.

Создание АСТПП направлено в основном на повышение эффективности производства и всего народного хозяйства. Повышение эффективности существующих систем технологической подготовки производства (ТПП) с помощью средств и методов вычислительной техники (ВТ) может быть достигнуто в том случае, когда проблемы, касающиеся этих систем, могут быть разрешены методами и средствами ВТ, и лишь в том случае, если организационно-технологическое состояние

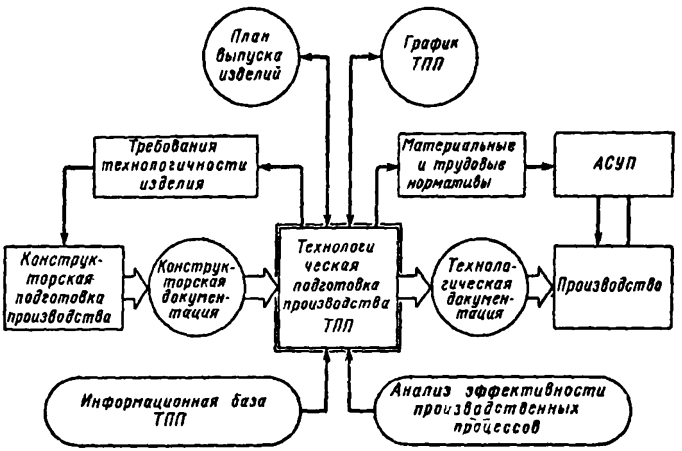


Рис. 10. Схема внешних связей АСТПП

ТПП соответствует уровню, который необходим для внедрения средств и методов ВТ.

Преобразовывать ТПП в АСТПП нужно путем разработки и внедрения в существующую систему ТПП системы автоматизации проектирования САПР. Для разработки и внедрения САПР необходимы данные трех видов [1]: 1) требования к САПР, определяющие характер ее воздействия на существующую систему ТПП для уменьшения или полного устранения недостатков последней; эти требования формируются на основе результатов диагностического анализа ТПП; 2) ограничения на разработку САПР исходя из области ее применения и возможностей предприятия по внедрению средств и методов ВТ; эти данные формируются на основе оценки ТПП как объекта автоматизации; 3) данные об информационной нагрузке на САПР при ее функционировании в АСТПП; получение и оценка этих данных формируются на основе информационного анализа ТПП.

Диагностический анализ ТПП. Цель этого анализа — выявление количественных оценок мероприятий при разработке и внедрении САПР. Для осуществления диагностического анализа системы ТПП нужно ее разбить на такие части, по которым можно получить достоверные оценки. Для этого осуществляют структурализацию ТПП по видам деятельности; декомпозицию подсистем деятельности, т. е. представление их как совокупности функциональных подсистем;

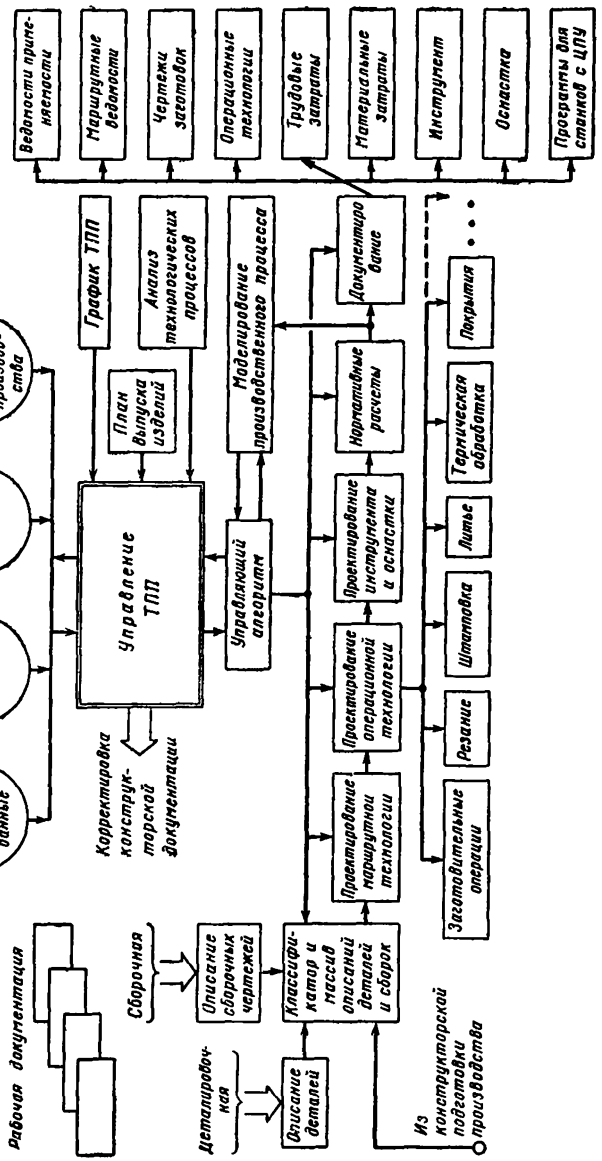


Рис. 11. Функциональная схема рабочего процесса АСТПП

структурализацию функциональных подсистем по каждой подсистеме деятельности с выделением основных структурных компонент этих подсистем.

Средствами ВТ проблема решается путем оценки состояния основных структурных элементов подсистем, имеющих отклонения по функциональной деятельности. В качестве основных структурных элементов функциональных подсистем нужно принимать вход (обеспеченность процесса), процесс (деятельность), выход (результат), обратную связь.

Каждая из выбранных компонент может иметь недостатки, снижающие эффективность ТПП в целом. Все недостатки ТПП можно разбить на семь классов: недостатки входной информации; недостатки по кадрам; недостатки материально-технической базы; недостатки методической базы; недостатки информационной базы; недостатки технологии выполнения задач ТПП; недостатки выходной информации.

Значение и удельный вес каждого из показателей определяют экспериментальным путем. При этом каждый из оцениваемых элементов системы может находиться в одном из следующих состояний: полностью преобладают положительные свойства элемента; положительные свойства элемента преобладают, но проявляются и отрицательные свойства; положительные и отрицательные свойства элемента проявляются приблизительно одинаково; преобладают отрицательные свойства элемента, но проявляются и положительные свойства; полностью преобладают отрицательные свойства элемента.

Эти качественные оценки преобразуются в количественные, если условиться, что каждой из оценок соответствует число из интервала [0,1].

Удельные веса свойств компонент функциональных подсистем или системы ТПП в целом определяют методом систематической проверки суждений об отношениях оцениваемых компонент на основе последовательных сравнений.

Для вычисления удельных весов элементы классификационной схемы недостатков ТПП обозначают следующим образом: O_i — i-я компонента системы и подсистемы ТПП; O_{ij} — j-е свойство i-й компоненты; O_{ijk} — k-е свойство входящего в состав j-го свойства i-й компоненты.

Для приведенной схемы классификации $i = 1, 2, 3, \ldots, 7$; $j = 1, 2, \ldots, N_i$, при этом $N_1 = 2$, $N_2 = 3$, $N_3 = 2$, $N_4 = 2$, $N_5 = 2$, $N_6 = 3$, $N_7 = 4$; $k = 1, 2, \ldots, N_{ij}$, при этом $N_{11} = 2$, $N_{12} = 3$, $N_{21} = 2$ и т. д.

Организационно-технологический уровень s-й подсистемы или же системы ТПП в целом определяется следующим образом: $U_s = 1 - \sum_{i=1}^{6} (1 - s_i) V_i'$, где s_i — состояние i-й компоненты s-й подсистемы ТПП; V_i' — нормированный удельный вес i-й компоненты s-й подсистемы ТПП.

Нормированные удельные веса компонент подсистемы вычисляют по формуле $V_i' = \frac{V_i}{\sum_i V_i}$, где V_i — решение следующей системы неравенств: $V_6 < V_2 + V_3 + V_1 + V_5 + V_4$; $V_6 < V_2 + V_3 + V_1 + V_5$; $V_6 < V_2 + V_3 + V_1$; $V_6 < V_2 + V_3$; $V_2 < V_3 + V_1 + V_5 + V_4$; $V_2 < V_3 + V_1 + V_5$; $V_2 < V_3 + V_1$; $V_3 < V_1 + V_5 + V_4$; $V_3 <$

$< V_1 + V_5$; $V_6 > V_2$; $V_6 > V_3$; $V_6 > V_1$; $V_6 > V_5$; $V_6 > V_4$; $V_2 > V_3$; $V_2 > V_1$; $V_2 > V_5$; $V_2 > V_4$; $V_3 > V_1$; $V_3 > V_5$; $V_3 > V_4$; $V_1 > V_5$; $V_1 > V_4$; $V_5 > V_4$; $0 \leqslant V_i \leqslant 1$.

Задавшись V_4, можно определить все V_i.

Анализ ТПП как объекта автоматизации. В результате диагностического анализа ТПП ее недостатки разбивают на две группы: недостатки, которые устраняются путем проведения организационно-технических мероприятий, и недостатки, которые устраняются средствами информационно-вычислительной техники.

Для тех недостатков, по которым приняты решения об устранении их с помощью ВТ, определяют возможность и целесообразность автоматизации задач, на которые эти недостатки влияют наиболее сильно. На этом этапе анализа выявляют основные типы таких задач. Для этого используют подход, основанный на замене всего множества решаемых задач задачами-представителями.

Сущность подхода заключается в следующем. В системе ТПП создают различные формы документов. Проектную документацию создают в результате конструкторского и технологического проектирования; она содержит данные технического характера. Вся совокупность работ по созданию различных документов, выполняемых в системе ТПП, может быть разбита на отдельные группы работ по признакам сходства. Из каждой группы выделяют работу, наиболее типичную для своей группы. Эта работа называется работой-представителем. Выбор работ-представителей производят экспертным путем, т. е. на основе рекомендаций ведущих специалистов ТПП. Следующие данные о работах-представителях заносят в таблицу: наименование и обозначение работы-представителя; характер распределения во времени работ, аналогичных работе-представителю; количество работ, аналогичных работе-представителю, выполняемых в единицу времени; длительность выполнения работы-представителя; поиск информации; принятие решений; расчеты; документирование; шифр процедур 2-го уровня, имеющих место при выполнении работы-представителя.

При решении различных задач конструкторского или технологического характера имеют место процедуры различного рода.

Схема классификации процедур, имеющих место при конструкторском и технологическом проектировании, приведена на рис. 12. Результаты расчета по методике, изложенной в работе [1], приведены в табл. 23.

Информационный анализ ТПП. Основные задачи информационного анализа заключаются в определении следующих данных: состава основных функциональных и обеспечивающих подсистем системы ТПП; уровня иерархии основных функциональных подсистем; характера и количества задач, решаемых по уровням иерархии функциональных подсистем и по всей системе ТПП; статистики обращений к САПР по различным задачам, уровням иерархии и подсистемам; информации о технологии проектирования объектов различных классов; видов, объема и формы представления исходной и создаваемой информации при проектировании объектов различных классов; видов, количества и структуры документов, разрабатываемых при проектировании объектов различных классов; статистики разработки документов различных видов по задачам, решаемым с помощью САПР; предполагаемого состава и структуры информационных массивов, их количественных и качественных характеристик; частоты обращений к инфор-

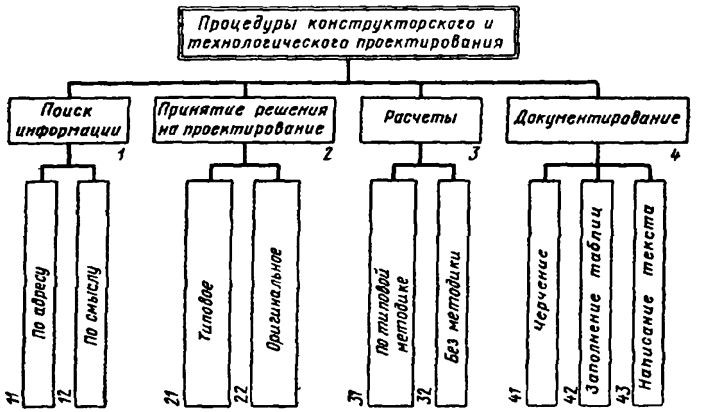


Рис. 12. Схема процедуры конструкторского и технологического проектирования

23. Результаты расчета по методике работы [1]

Шифр процедур 1-го уровня	Последовательность автоматизация процедур	Оценка коэффициентов автоматизации		Шифр процедур 2-го уровня	Оценка коэффициентов автоматизации			Последовательность автоматизация процедур
		скорректированная	нормированная		ненормированная	нормированная	окончательная	
	2	0,7	0,333	11	1,0	0,666	0,222	2
				12	0,5	0,334	0,112	4
2	4	0,1	0,048	21	1,0	0,588	0,028	
				22	0,7	0,412	0,020	9
3	1	1,0	0,476	31	1,0	0,588	0,281	1
				32	0,7	0,412	0,197	3
4	3	0,3	0,143	41	0,6	0,240	0,027	8
				42	0,9	0,360	0,054	6
				43	1,0	0,400	0,059	

мационным массивам; скорости прироста информационных массивов; информации об организации и штатной структуре системы ТПП; классов и количества пользователей по уровням административной подчиненности, иерархии и функциональным подсистемам; уровней административной подчиненности в системе ТПП; приоритетности решения задач по видам, уровням иерархии и функциональным подсистемам; территориального размещения подразделений предприятия, площади производственных помещений; характеристики существующей технической базы; требований по интеграции АСТПП с другими системами. Это позволяет для таких задач создать общий массив информации и определить его характеристики: объем и содержание, число обращений, время обращения и характер обращений. Такое формирование информационных массивов повышает эффективность использования САПР.

Математическое обеспечение автоматизации проектирования. Степень автоматизации процессов принятия проектных решений может быть различной, начиная с автоматизации отдельных элементов этих процессов и кончая автоматизацией выработки обоснованных рекомендаций проектанту относительно выбора проектного решения в конкретной проектной ситуации с учетом имеющейся информации. Степень автоматизации этих задач зависит от степени их формализации, т. е. от их математического обеспечения.

В зависимости от характера проектных задач и требований, предъявляемых к их решению, возможны различные способы моделирования этих задач. Наибольшее распространение в настоящее время в САПР получили два методически различных подхода. Первый из них основан на идеях ситуационного, а второй — операционного моделирования.

При ситуационном моделировании предполагается, что множество качественно различных проектных решений сравнительно невелико и множество проектных ситуаций может быть разбито на соответствующее число групп качественно различных ситуаций. К каждой такой группе можно отнести некоторое проектное решение, принятие которого целесообразно в ситуациях этой группы. Выдача рекомендаций по проектному решению в ходе проектирования при таком подходе сводится к идентификации конкретной проектной ситуации и выбору проектного решения. Разработка механизма классификации при таком подходе — одна из наиболее сложных и ответственных задач. В настоящее время широкое распространение в САПР получило представление результатов этих построений в виде некоторой совокупности таблиц выбора решений.

В процессе развития табличных методов для решения определенных классов задач используют различные формы таблиц. Более распространены таблицы решений, характеристические таблицы, таблицы применяемости

Таблицы решений дают ряд важных преимуществ. Задача, представляемая в виде таблицы решений, достаточно просто составляется с помощью специального трафарета, легко проверяется на полноту, противоречивость и избыточность. Кроме того, затраты на программирование и время на отладку программ относительно малы, так как формальные ошибки находятся быстро, а логические ошибки находятся уже в процессе постановки задачи в виде таблицы решений.

В таблицах решений приводят параметры, их значения, действия и указатель решений.

24. Таблица решений

Параметр			Решение		
x_1	x_2	x_3			
при					
$a > b$	$a >$	$c > b$	$y_1 = \max := a$	$y_2 = \max := b$	$y_3 = \max := c$
			×		
0		0		×	
	0				×

Примечание. Указание решений обозначено знаком «×».

Как видно из табл. 24, таблица решений состоит из четырех групп данных.

В качестве примера рассмотрим задачу определения наибольшего числа из задаваемых трех попарно неравных чисел a, b, c. В качестве параметров примем x_1, x_2, x_3, принимающие значения 0 или 1 в зависимости от выполнения тех или иных неравенств: $a > b$, $a > c$, $c > b$. Решениями являются: $\max := a$, $\max := b$, $\max := c$, которые обозначим соответственно буквами y_1, y_2, y_3. Решение для этой задачи приведено в табл. 24.

Таблица читается следующим образом. Если $x_1 = 1$ и $x_2 = 1$, то независимо от значения x_3 выбирается решение y_1. Если $x_1 = 0$ и $x_3 = 0$, то независимо от значения x_2 выбирается решение y_2. Если $x_2 = 0$ и $x_3 = 1$, то независимо от значения x_1 выбирается решение y_3.

Характеристические таблицы служат средством формального описания сложных логических связей при автоматизированном синтезе алгоритмов общего назначения. В них отражается информация о том, какие именно вычисления (арифметические операторы) или последовательность арифметических операторов необходимо реализовать в зависимости от конкретных значений некоторого набора логических переменных. Если множество арифметических операторов обозначить через $A = \{A_1, A_2, \ldots, A_n\}$, а множество логических переменных через $P = \{P_1, P_2, \ldots, P_m\}$, то в общем случае характеристическая таблица будет задаваться матрицей $M \times (m + 1)$, где $M = k_1 \times k_2 \times \cdots \times k_m$; k_i — количество значений i-й логической переменной. Каждая строка характеристической таблицы состоит из $m + 1$-го столбца. Первые m элементов этой строки являются набором значений логических переменных, а $m + 1$-й элемент содержит последовательность арифметических операторов, выполняемых для указанного набора логических переменных. Решение какой-либо задачи при помощи характеристической таблицы сводится к перечислению последовательности номеров строк этой таблицы, что полностью определяет набор арифметических

25. Характеристическая таблица

№ набора	P_1	P_2	A	№ набора	P_1	P_2	A
1	0	0	A_1	4	1	0	A_4
2	0	1	A_2	5	1	1	A_3, A_5
3	0	2	A_1, A_3	6	1	2	A_6

операторов, и последовательности их выполнения для достижения цели. Пример характеристической таблицы для $P = \{P_1, P_2\}$ и $A = \{A_1, A_2, \ldots, A_6\}$ — табл. 25.

Таблица применяемости во многом аналогична таблице решений, однако имеет определенную особенность и свою сферу применения.

Типовым решением может быть стандартный или нормализованный элемент конструкции из ГОСТов или нормалей, конструктивное решение или технологический процесс и т. д.

Введем обозначения: $x_1, x_2, \ldots, x_m$ — параметры; $\{x_{k1}; x_{k2}; \ldots; x_k, l_k\}$ — множество значений, принимаемых параметром X_k; $Y = \{y_1, y_2, \ldots, y_n\}$ — множество решений. Таблицу применяемости (табл. 26) строят следующим образом. Столбцам приписывают значения параметров, при этом для краткости указывают только второй индекс j значения $x_{k,j}$ параметра x_k. В последнем $\left(\sum_{k=1}^{m} l_k + 1\right)$-м столбце записывают некоторое решение из множества возможных решений. Число строк равно числу решений, и разные решения записывают в разных строках. Клетки таблицы заполняют нулями и единицами.

26. Таблица применяемости

x_1				x_2			x_3		x_4		
1	2	3	4	1	2	3	1	2	1	2	
		1		1	1		1	1	1	1	y_1
		1	1			1		1	1	1	y_2
	1			1		1		1		1	y_n

Обозначим через $x_{p,k}$ набор значений параметра x_k, который в p-й строке таблицы соответствует единице. Если параметр x_1 принимает значение из множества x_{p_1}, параметр x_2 — значение из x_{p_2}, параметр x_m — значение x_{pm}, то этим набором значений параметров опреде-

ляется y_p. Если хотя бы одному значению из набора значений параметров соответствует нуль в p-й строке, то решение не определяется этим набором значений. Из приведенного примера в табл. 26 набору значений параметров $\{x_{1,1}; x_{2,1}; x_{3,1}; x_{4,1}\}$ соответствует решение y_1, набору $\{x_{1,1}; x_{2,1}; x_{3,2}; x_{4,2}\}$ — набор решений (y_1, y_n), а для набора $\{x_{1,4}; x_{2,2}; x_{3,1}; x_{4,2}\}$ решение отсутствует. Таблицы применяемости — весьма эффективные средства описания процессов принятия проектно-конструкторских решений при автоматизированном проектировании.

Операционное моделирование связано с построением операционных моделей, где наряду с множеством проектных ситуаций и множеством решений, которые могут быть приняты в этих ситуациях, находят отражение требования, предъявляемые к искомому решению. Из множества возможных решений находят решение, наиболее полно удовлетворяющее этим требованиям.

Операционная модель должна дать в достаточной мере адекватное формальное описание основных компонент, участвующих в процессе принятия проектных решений. К этим компонентам относятся: множество проектных решений, которые могут быть приняты на данном этапе проектирования; требования, предъявляемые к проектному решению; цели, преследуемые при его выборе; условия, влияющие на степень достижения поставленных целей при выборе тех или иных проектных решений; способ оценки проектных решений.

Системы моделирующих переменных в операционных моделях делят на управляемые и неуправляемые. В большинстве реальных проектных задач выбор наилучшего решения связан с необходимостью учета большого числа целей, которые в большинстве случаев являются противоречивыми. Такие задачи на практике решаются при помощи построения обобщенного критерия на базе частных критериев. В настоящее время на практике часто применяют следующие обобщенные критерии.

Аддитивный критерий. В качестве обобщенного критерия берут взвешенную сумму частных критериев $F(X) = \sum_{j=1}^{k} \alpha_j K_j(X)$, где α_j — удельный вес 1-го критерия в обобщенном критерии; $K_j(X)$ — критерий достижения 1-й цели; K — количество целей в проектном решении; $X\{x_1, x_2, \ldots x_n\}$ — вектор управляемых и неуправляемых переменных.

Мультипликативный критерий берут как взвешенное произведение частных критериев: $F(X) = \prod_{j=1}^{k} (K_j(X))^{\alpha_j}$.

Конъюнктивный критерий оценивает каждое решение с точки зрения цели, степень достижения которой в данном случае минимальна: $F(X) = \max_{1 \leqslant j \leqslant k} \alpha_j K_j(X)$.

Дизъюнктивный критерий оценивает каждое решение с точки зрения цели, степень достижения которой в данном случае максимальна: $F(X) = \min_{1 \leqslant j \leqslant k} \alpha_j K_j(X)$.

Пример. Рассмотрим операционную модель задачи определения режимов обработки [1]. Определим оптимальные режимы резания при обработке деталей в сблокированной автоматической линии, компонуемой из агрегат-

ных станков при известной структуре технологического процесса и компоновки линии

Постановка задачи. Основными факторами, влияющими на выбор режимов резания, являются структура линии, характер и параметры процессов при резании, технические возможности используемых узлов и инструмента, требуемая производительность и т. п.

Инструменты линии разделены на группы в зависимости от силового узла, к которому они относятся. Минутная подача у всех инструментов одной группы одинакова и совпадает с минутной подачей соответствующего силового узла. Частота вращения каждого инструмента остается постоянной в процессе обработки и не изменяется с изменением рабочей подачи.

Выход из строя любого инструмента приводит к останову линии для его замены. Множество управляемых переменных описывается пределами изменения скоростей резания, подач на оборот, минутных подач по каждому силовому узлу.

Требования, предъявляемые к искомому решению, заключаются в следующем: усилия подачи, крутящий момент и мощность на каждом шпинделе не должны превышать предельных значений; число деталей, обработанных за период стойкости инструмента, должно быть не меньше некоторого минимально допустимого числа; суммарные усилие и мощность, развиваемые инструментами одной группы, не должны превышать предельных значений, определяемых прочностью и жесткостью системы СПИД; средняя производительность линии должна быть не меньше заданной; в качестве критерия эффективности принимают приведенные затраты на выпуск единицы продукции

С учетом сделанных предположений операционная модель задачи описывается следующей системой соотношений:

$$E_1 \max_{1\leqslant i\leqslant m}\left(\frac{L_i}{s_i}+t_{вi}\right)+\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{h_i}\frac{A_{1ij}}{D_{ij}(s_i, v_{ij})}\to \min; \tag{29}$$

$$E_2 \max_{1\leqslant i\leqslant m}\left(\frac{L_i}{s_i}+t_{вi}\right)+\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{h_i}\frac{A_{2ij}}{D_{ij}(s_i v_{ij})}\leqslant t_0; \tag{30}$$

$$P_{ijlr}=\sum_{k=1}^{l_{ij}} a_{ijklr}\, s_i^{\beta_{ijkl}} v^{\gamma_{ijkl}}\leqslant \bar{P}_{ijlr},\quad i=1, 2, 3; \tag{31}$$

$$\sum_{j=1}^{h_i} P_{ijlr}(s_i, v_{ij})\leqslant \bar{P}_{ilr};\quad i=2, 3; \tag{32}$$

$$D_{ij}(s_i, v_{ij})\geqslant \underline{D}_{ij}; \tag{33}$$

$$\max_{1\leqslant k\leqslant l_{ij}} \underline{S}_{ijk}\leqslant s_i v_{ij}^{-1}\leqslant \min_{1\leqslant k\leqslant l_{ij}} \bar{S}_{ijk}; \tag{34}$$

$$\max_{1\leqslant k\leqslant l_{ij}} \underline{V}_{ijk}\leqslant v_{ijk}\leqslant \min_{1\leqslant k\leqslant l_{ij}} \bar{V}_{ijk}; \tag{35}$$

$$\underline{S}_i\leqslant s_i\leqslant \bar{S}_i;\quad i=\overline{1, m};\quad j=\overline{1, h};\quad r=1, 2; \tag{36}$$

$$D_{ij}(s_i, v_{ij})=\left[\max_{\substack{1\leqslant k\leqslant l_{ij}\\ 1\leqslant q\leqslant u_{ijk}}} d_{ijk}\left(s_i^{\psi_{ijkq}} v_{ij}^{\mu_{ijkq}}+\frac{d_{ijkq}}{s_i}\right)\right]^{-1} \tag{37}$$

где m — число силовых узлов на линии; h_i — число инструментов с приводом подачи от i-го силового узла, s_i — величина минутной подачи i-го си-

лового узла на первой рабочей подаче; v_{tj} — угловая скорость j-го инструмента t-й группы; L_t — общая длина рабочего хода t-го силового узла, приведенная к первой рабочей подаче; $t_{вt}$ — вспомогательное время на линии, приведенное к t-му узлу; D_{tj} — минимально допустимое число деталей, обрабатываемых tj-м инструментом за период его стойкости; $\overline{P}_{tlr}$ — максимально допустимое значение l-й составляющей усилия резания (при $l = 1, 2$) или мощности (при $l = 3$) на tj-м шпинделе на r-й рабочей подаче; P_{tlr} — максимальное усилие подачи ($l = 2$) или мощность резания ($l = 3$), допускаемые t-м силовым узлом на r-й рабочей подаче; t_0 — максимально допустимое значение переменной части штучного времени; l_{tj} — количество комбинированного инструмента в t-м узле

В рассмотренной задаче управляемыми переменными являются величины s_t и v_{tj}, а неуправляемыми — все остальные. Задача определения оптимальных режимов резания сводится к задаче нахождения величин s_t и v_{tj}, удовлетворяющих ограничениям (30)—(36) и минимизирующих функционал (29). Один из методов решения этой задачи, учитывающий ее особенность, рассмотрен в работе [1]

Автоматизация программирования инженерных задач. По существующим данным, в настоящее время отношение затрат на разработку ЭВМ и затрат на разработку их математического обеспечения составляет 1 2, что тормозит освоение вычислительной техники широким кругом инженерно-технических работников. Для ускорения прохождения задачи от ее постановки до получения окончательных результатов при помощи ЭВМ разработаны системы автоматического программирования, которые позволяют для этой цели привлечь инженерно-технических работников, от которых не требуется знания конкретных типов ЭВМ.

В СССР наибольшее распространение из алгоритмических языков получили АЛГОЛ, АЛГАМС, ФОРТРАН, КОБОЛ.

Большинство специализированных систем программирования, в том числе систем для моделирования инженерных процессов, относятся к языкам программирования с проблемной ориентацией. Во многих странах применяют системы программирования с проблемной ориентацией. Большинство из них разработано для автоматической подготовки управляющих программ к станкам с ЧПУ и автоматизации проектно-конструкторских работ, включая автоматизацию чертежно-графических работ.

Основное назначение формализованного аппарата геометрических построений (ФАП) [1] — описание алгоритмов формирования математических моделей синтезируемых объектов, в том числе деталей и узлов конструкций. Для этого в ФАП включают способы, позволяющие определять геометрические объекты, операции для осуществления различных манипуляций с объектами (перенос, вращение, масштабирование, соединение нескольких геометрических объектов в единый геометрический комплекс), а также для синтезирования новых геометрических объектов и комплексов, удовлетворяющих определенным свойствам (сделать отверстие в указанном месте геометрического объекта, изменить его конфигурацию и т. д.).

ФАП может быть использован для формирования математических моделей деталей и моделирования кинематики узлов конструкций, предварительно заданных машиностроительным чертежом. Далее приведено краткое описание ФАП-КФ1.

Геометрические переменные. При написании программы на языке ФАП-КФ1 каждая переменная геометрического типа получает свое наименование, которое используется в последующем в геометрических выражениях для ссылок на эти переменные. Правила присвоения таких наименований совпадают с правилами присвоения наименований переменным на языке ФОРТРАН.

Геометрические переменные в программе не описываются, если при этом имеются в виду способы, аналогичные явному или неявному описанию арифметических (целых, вещественных) и логических переменных на языке ФОРТРАН.

Тип геометрической переменной устанавливается динамически в процессе счета программы в зависимости от вида геометрического выражения, используемого для определения этой геометрической переменной.

Значением геометрической переменной является ее каноническое представление (математическая модель). Геометрическое значение может быть получено с помощью оператора обращения к подпрограмме и геометрического выражения, используемого в операторе присвоения геометрического значения.

Массивы геометрических значений. Геометрические переменные любых типов могут быть организованы в массивы той размерности, которую допускает базовый транслятор с языка ФОРТРАН.

Элементами одного массива одновременно могут быть геометрические переменные любых типов. Например, в массиве *B*, описанном выражением DIMENSION, *B* (3), *B* (1) могут представлять собой окружность, *B* (2) — ломаную с любым числом звеньев, *B* (3) — произвольную область, ограниченную одним или несколькими контурами.

Чтобы воспользоваться геометрической переменной, являющейся элементом массива, следует указать наименование этого массива с соответствующими индексами.

Под геометрическим комплексом (ГК) понимают произвольную совокупность элементарных и составных геометрических объектов (ГО), объединенных общим названием. ГК может содержать разнотипные ГО. В ГК могут быть представлены другие ГК. ГК определяют иерархию ГО и могут быть применены для осуществления операций над совокупностью ГО.

Проблемный словарь языка ФАП-КФ1. Расширяемость языка. Проблемный словарь языка ФАП-КФ1 состоит из ключевых слов, обладающих заданным смыслом.

Ключевые слова используются для указания типа определяемой геометрической переменной и способа ее определения и выступают в качестве наименований подпрограмм-функций в геометрических выражениях.

Для включения нового слова в систему программирования ФАП-КФ1 достаточно соответствующую ему подпрограмму-функцию оттранслировать и разместить на внешних носителях на общих правах со всеми другими подпрограммами-функциями, соответствующими ключевым словам.

Базовый словарь языка ФАП-КФ1 содержит около 160 ключевых слов, служащих для определения элементарных и составных геометрических объектов, геометрических комплексов, для вычисления некоторых стандартных функций, содержащих геометрические переменные в качестве параметров, и для осуществления операций вывода на АЦПУ

и на устройства отображения графической информации (чертежно-графический аппарат, дисплей).

Операторы присвоения геометрических значений. Геометрические выражения. Операторы присвоения геометрических значений состоят из двух частей — левой и правой, разделяемых знаком равенства. В левой части указывается наименование определяемой геометрической переменной, представляющей собой простую переменную или переменную с индексами. Справа от знака равенства указывается геометрическое выражение, т. е. правило вычисления геометрического значения.

Оператор присвоения осуществляет вычисление геометрического значения по правилам, предписываемым геометрическим выражением, и присваивает это значение геометрической переменной, стоящей слева от знака равенства.

Различают геометрические выражения следующих видов: элементарные геометрические выражения; указатели ключевых функций; отрицание геометрического объекта.

Элементарные геометрические выражения могут представлять собой константы 0 или 1, либо любые арифметические выражения, принятые в ФОРТРАНе, значениями которых являются 0 или 1 и наименование геометрических выражений.

Указатели ключевых функций — основные разновидности геометрических выражений и с точки зрения построения их синтаксиса представляют собой указатели подпрограмм-функций языка ФОРТРАН. Каждое такое выражение состоит из двух частей: наименования подпрограммы-функции и списка фактических параметров, являющихся как исходными данными, так и результатами вычислений. По крайней мере один из результатов всегда связывается с наименованием функции Наименование функции однозначно указывает тип определяемой геометрической переменной (на это указывают одна или две первые буквы в наименовании функции), способ ее параметризации (остальные символы в наименовании функции) и последовательность перечисления фактических параметров (определяется последовательностью перечисления букв в наименовании функции).

Например, в параметрическом операторе $P = PTA\ (T4,\ ALFA)$ наименование функции PTA означает, что определяется прямая P, проходящая через заданную точку $T4$ под заданным углом $ALFA$ к оси абсцисс.

Все геометрические операторы разбиты на следующие группы: геометрические операторы для определения элементарных ГО; геометрические операторы для определения ГО и ГК; геометрические операторы для вычисления метрических характеристик — угловых и линейных (например, угол между двумя прямыми, кратчайшее расстояние от точки до контура); геометрические операторы для выделения канонических параметров из ранее определенных ЭГО; геометрические операторы анализа структуры СГО и ГК; геометрические операторы вывода на устройства отображения графической информации и на устройства алфавитно-цифровой печати; стандартные подпрограммы.

Примеры геометрических операторов, использующих указатели ключевых функций, показаны на рис. 13.

Почти во всех геометрических операторах существенной является ориентация геометрических объектов. Операторы, определяющие геометрические объекты, устанавливают также ориентацию этих объектов. Если геометрическое выражение не содержит достаточной информации

для установления ориентации определяемого ГО, то выбирают ориентацию против часовой стрелки.

Как правило, начальные буквы в наименованиях функций зависят от типов определяемых геометрических переменных: *T* — точка; *P* — прямая; *K* — окружность; *F* — кривая второго порядка; *V* — вектор; *L* — отрезок прямой; *D* — дуга окружности; *DF* — дуга кривой второго порядка; *W* — ломаная; *S* — составной геометрический объект; *GK* — геометрический комплекс; *A* — угловая величина; *H* — линейная величина.

Геометрические выражения могут иметь сложную структуру в том смысле, что в них на месте любой геометрической или арифметической переменной могут стоять произвольные геометрические или арифметические выражения, определяющие значения этих переменных. Например, оператор

$$P = PTA\,(TPK\,(PKK\,(K1,\ K2),\ KPPR\,(PTT\,(T1,\ T2)\ R2,\ R)),\ ALFA)$$

($PKK\,(K1,\ K2)$ — $P3$; $KPPR\,(PTT\,(T1,\ T2)\ R2,\ R)$ — K; $TPK\,(P3,\ K)$ — $T3$)

равносилен последовательности операторов $P3 = PKK\,(K1,\ K2)$ $P1 = PTT\,(T1,\ T2)$ $K = KPPR\,(P1,\ P2,\ R)$ $T3 = TPK\,(P3,\ K)$ $P = PTA\,(T3,\ ALFA)$.

Отрицание геометрического объекта *P* — новый геометрический объект, совпадающий по расположению с объектом *P*, но противоположный ему по ориентации. Отрицание произвольного геометрического объекта *P* обозначается через —*P*. Поэтому знак «—», стоящий перед любым геометрическим выражением, означает отрицание определяемой этим выражением геометрической переменной.

Часто повторяющиеся однотипные геометрические вычисления могут быть оформлены в виде подпрограмм. Формальными параметрами подпрограмм могут быть простые неиндексированные переменные — арифметические или геометрические, массивы и ГК.

Подпрограмма-функция используется для определения одного ГО любого из допустимых типов.

Проиллюстрируем отдельные возможности ФАП-КФ1 на примере автоматизации расчета и вычерчивания простого плоского механизма (рис. 14).

Подпрограмма-функция *DET* формирует составной геометрический объект с параметрами *A*, *B*, *R1*, *R2*.

Другая подпрограмма *УЗЕЛ* вычисляет и передает на магнитную ленту вывода чертеж с тем же наименованием, подготовленный для воспроизведения на чертежно-графическом автомате, и осуществляет печать на алфавитно-цифровом устройстве АЦПУ функциональных зависимостей $R = f_1(\varphi)$ и $H = f_2(\varphi)$ при изменении угла φ от начального значения *F1* с шагом в 1° до $F1 + 10°$. Кроме того, на АЦПУ выдаются параметры детали *ДЕТ* в крайнем положении при $\varphi = F1 + 10°$. Подпрограмма *УЗЕЛ* может быть многократно использована при различных значениях параметров *X*, *Y*, *R1*, *R2*, *A*, *B*, *F1*.

```
FUNCTION DET (A, B, R1, R2)
    K4 = KXYR (0., 0.,10)
    K5 = KXYR (B — R2 — 10., 0., R2)
    P9 = PKK (K5, K4)
```

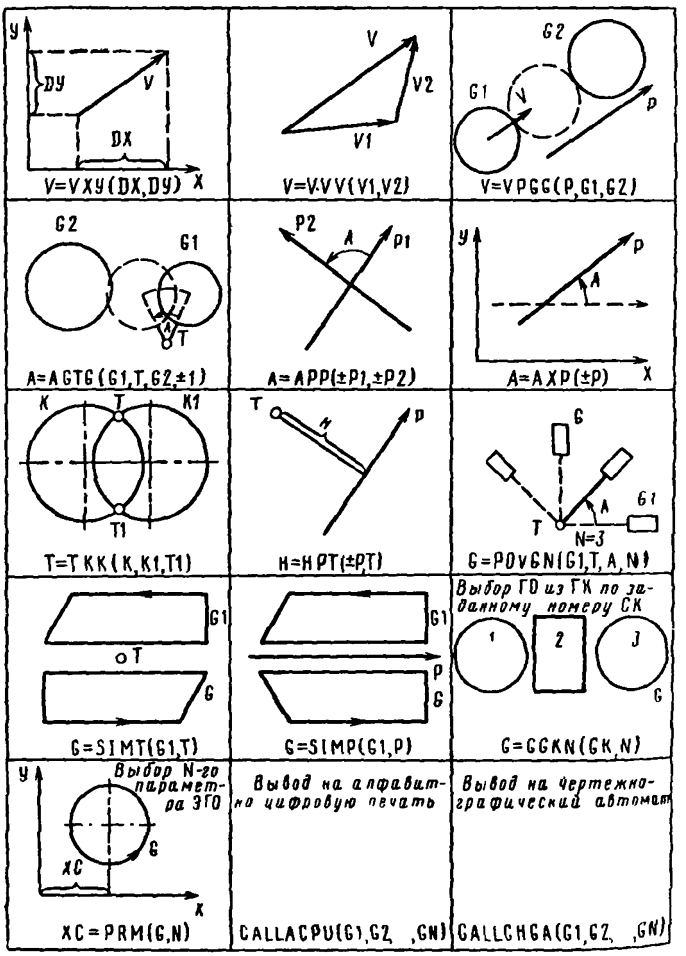
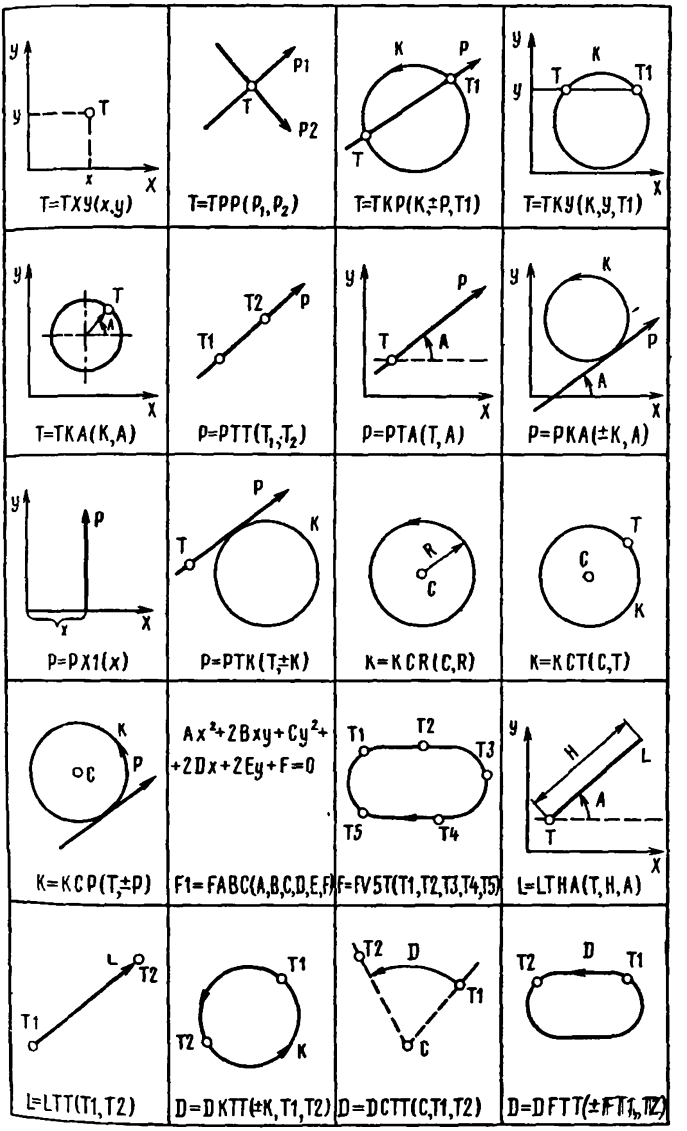


Рис. 13. Примеры геометрических операторов



использующих указатели ключевых функций

```
K6 = KXYR (0., A., R1)
T7 = TKP (K6, PY (— 2.))
P11 = PKVA (K6, P9, — RAD (70.))
DET = CGN (K4, K5, P9, P11, K6, T7, K4)
K8 = KCR (K4, — 3.5)
DET = GKGN (DET, K8)
RETURN
END
SUBROUTINE УЗЕЛ (X, Y, X1, Y1, R1, R2, A, B, F1)
```

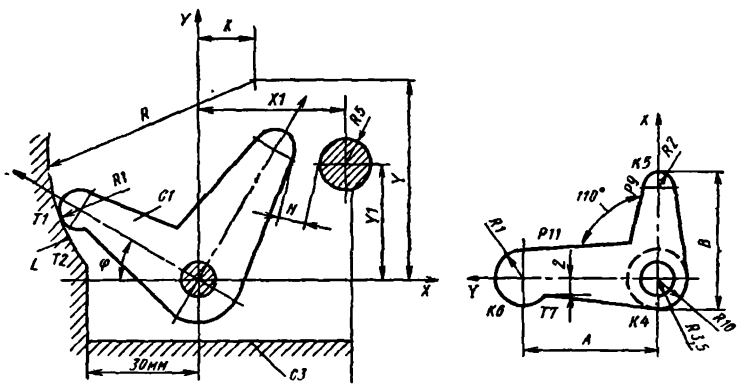


Рис. 14. Чертеж плоского механизма, вычерчиваемый при помощи программы на языке ФАП-КФ1

```
DIMENSION E1 (11), E2 (11)
C = DET (A, B, R1, R2)
F11 = F1
D01 I = 1,11
C1 = POVG (C, TXY (0., 0.), RAD (90. — F11))
T1 = TRA (A, RAD (180. — F11))
R = HTT (T1, TXY (X, Y))
E1 (I) = TXY (F11, R + R1)
H = — HGT (TXY (X1, Y1), C1, T) + 5.
E2 (I) = TXY (F11, H)
1F11 = F11 + 1.
T2 = TKP (KXYR (X, Y, R), — PY (— 30.), T)
C3 = CGN (TXY (R — X, Y), KXYR, T2, TXY (— 30., — 15),
     TXY (50., — 15.), 0., KXYR (X1, Y1, 5.))
CALL H4 (4H УЗЕЛ, 100., 50., 0., 1.)
CALL CHGA (C3, C1)
CALL K4 (0., 0.)
CALL ACPU (4H УЗЕЛ, C3, C1)
CALL АЦПМ (E1, 11)
CALL АЦПМ (E2, 11)
RETURN
END
```

В подпрограмме-функции *DET* первые два оператора определяют окружности *K*4 и *K*5 координатами центра и величиной радиуса *KXYR*. Следующий оператор однозначно определяет прямую *P*9, касательную к ориентированным окружностям *K*5, *K*4 (*PKK*). Точка *T*7 определяется как точка пересечения прямой *PY* (—2.) с окружностью *K*6. Выбирается первая точка пересечения прямой с окружностью. Прямая 11 строится под углом —70° к прямой *P*9 и касательно к *K*6 (*PKVA*).

Следующий оператор *CGN* формирует наружный контур детали натягиванием контура на элементы, перечисленные в списке. *K*8 представляет собой окружность, концентрическую окружности *K*4. Окончательно *DET* представляет собой сумму ранее сформулированного объекта *DET* и окружности *K*8.

Подпрограмма *УЗЕЛ* осуществляет обращение к функции *DET* с фактическими параметрами *A*, *B*, *R*1, *R*2 и формирует объект *C*. Затем в цикле происходит поворот (*POVG*) объекта *C* вокруг точки *TXY* (0,0.) на угол (90 —*FI*1)°. Точка *T*1 определяется координатами *A*(180 —*FI*1)° в полярной системе координат *TRA*. Затем вычисляется расстояние *R* между точками *T*1 и *X*, *Y*.

*E*1 и *E*2 представляют собой массивы точек, соответственно с координатами (*FI*1, *R* + *R*1), (*FI*1, *H*), описывающие зависимости $R = f_1(\varphi)$ и $H = f_2(\varphi)$. Для определения *H* вычисляется расстояние *HGT* между точкой (*X*1, *Y*1) и объектом *C*1.

Чертеж узла переносится в точку (100, 50) поля чертежа *H*4 и состоит из объектов *C*3, *C*1. Объект *C*3 представляет собой незамкнутую кривую *L* и окружность *R*5 с координатами *X*1, *Y*1. Кривая *L* начинается в точке (*R*—*X*, *Y*), затем следует по окружности (*X*, *Y*, *R*) до точки *T*2, после чего продолжается точками (—30, —15), (—50, —15).

Аналогичные геометрические расчеты имеют место в самых различных областях науки и техники. При помощи ФАП-КФ1 можно моделировать большинство графических построений, выполняемых на чертежах средствами начертательной геометрии.

Экономические аспекты автоматизации технологической подготовки производства. Основная задача ТПП — построение технологического процесса изготовления сконструированного изделия, обеспечивающее минимальные затраты средств на получение продукта заданного качества при минимальных затратах. Экономическую эффективность внедрения системы автоматизации проектных работ в народное хозяйство можно рассматривать как сумму экономий в различных сферах производства и потребления [1]:

$$Э = Э' + Э'' + Э''', \qquad (38)$$

где $Э'$ — соответственно экономия в процессе подготовки производства, в процессе производства, в сфере использования результатов производства.

Основные источники экономической эффективности автоматизации технологической подготовки производства приведены на рис. 15.

Рост производительности труда в сфере подготовки производства приводит, во-первых, к сокращению сроков подготовки производства и его освоения, во-вторых, к снижению себестоимости проектирования. Это достигается благодаря следующим факторам: типизации проектных

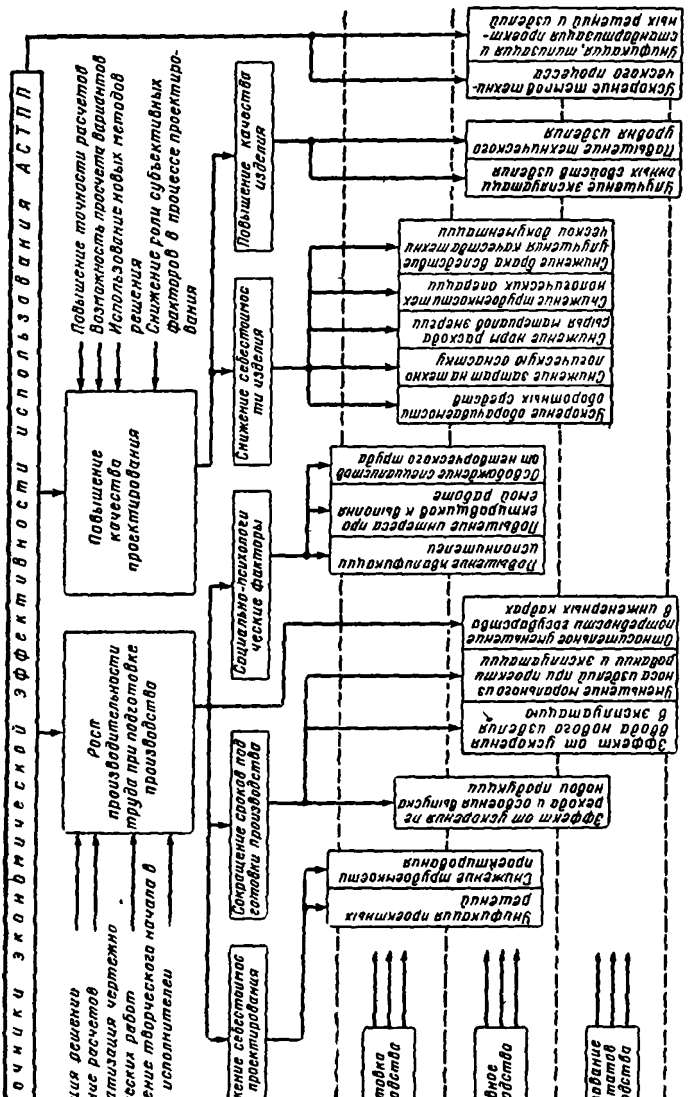


Рис. 15. Основные источники экономической эффективности

решений; ускорению расчетов; автоматизации чертежно-графических работ, повышению творческого начала в работе исполнителей.

Сокращение сроков ТПП непосредственно влияет на ускорение выпуска новых изделий, что имеет решающее значение для ускорения технического прогресса и развития народного хозяйства, так как экономический эффект $Э_1$, получаемый в результате сокращения сроков подготовки производства, состоит из эффекта $Э_1'$, получаемого на этапе перехода к выпуску новой продукции и при его освоении, и эффекта $Э_1''$, возникающего в процессе эксплуатации новых изделий.

Экономический эффект

$$Э_1'' = s_п N_п \frac{T_{осв}(1 - k_1)}{2},$$

где $s_п$ — доля условно-постоянных расходов, приходящихся на единицу изделия и отвечающих данному уровню производства; $N_п$ — плановая программа выпуска изделий; $T_{осв}$ — время освоения изделия до внедрения АСТПП; k_1 — коэффициент, учитывающий влияние автоматизации на цикл освоения.

Экономический эффект вследствие ускорения ввода новых машин для использования их в народном хозяйстве рассчитывают по формуле

$$Э_1'' = Э_э N_п \left[T_{осв}(1 - k_1) + \sum_{i=1}^{n} \Delta t_i k_{2i} \right], \qquad (39)$$

где $Э_э$ — экономия, которую дает вновь осваиваемая машина в сфере эксплуатации в единицу времени; Δt_i — сокращение длительности решения i-й задачи ТПП (в днях); k_{2i} — коэффициент, учитывающий влияние i-й задачи на длительность ТПП.

Экономия на текущих затратах

$$Э_2' = C_{Qб} - C_{Q\,вн}, \qquad (40)$$

где $C_{Qб}$ — себестоимость выполнения заданного объема работ при ручном проектировании; $C_{Q\,вн}$ — себестоимость выполнения заданного объема работ при автоматизированном проектировании.

Себестоимость проектирования в двух сравниваемых вариантах проектирования (ручном и автоматизированном) рассчитывают по формуле

$$C_Q = \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} T_{t_i} C_i Q_j, \qquad (41)$$

где T_t — фактические трудозатраты по элементам для j-го вида объекта проектирования, C_i — себестоимость часа работы по каждому элементу проектирования; Q_j — объем проектирования j-го вида объекта проектирования; m — количество объектов проектирования; n — количество элементов проектирования.

При расчете нужно учитывать следующие элементы проектирования в ручном варианте — подготовительно-заключительные работы, поиск информации, инженерно-технические расчеты, чертежно-графические работы; в автоматизированном варианте — подготовку исходных данных; обработку информации на ЭЦВМ; изготовление технической документации с помощью терминалов.

Часовая себестоимость ручных работ

$$C_l = \frac{З_{осн\,l}(1 + K_{доп})(1 + K_{отч})(1 + K_{н.\,р})}{T_{эф}}, \qquad (42)$$

где $З_{осн\,l}$ — годовой фонд основной заработной платы исполнителя по l-му этапу работы; $K_{доп}$ — коэффициент дополнительной заработной платы; $K_{отч}$ — коэффициент отчислений в фонд социального страхования; $K_{н.\,р}$ — коэффициент, учитывающий накладные расходы; $T_{эф}$ — годовой фонд полезного времени исполнителя.

Повышения качества проектирования АСТПП можно достигнуть выбором оптимального варианта; возможностью использования новых методов решения; снижением роли субъективных факторов в процессе проектирования; повышением точности расчетов.

При анализе влияния повышения качества проектирования необходимо рассматривать: 1) изделие как конечный продукт производства и 2) изделие как вид технологической оснастки.

В первом случае внедрение автоматизированной системы технологической подготовки производства вызывает улучшение технического уровня и эксплуатационных свойств. Экономическую эффективность от повышения качества изделия в общем случае можно рассчитать по формуле

$$Э_4'' = K_З[(C_б + E_н K_б) - (C_н + E_н K_н)]\,Q_{год.\,н} N_п, \qquad (43)$$

где $C_б$, $C_н$ — соответственно удельные (на единицу производительности) себестоимость продукции или работ, осуществляемых с помощью старой и новой машины в год; $K_б$, $K_н$ — соответственно удельные капитальные вложения в машину старого и нового качества, рассчитанные по оптовой цене, с коэффициентом 1,05—1,1, учитывающим расходы по транспортированию к месту эксплуатации, монтажу и наладке; $E_н$ — нормативный коэффициент экономической эффективности капиталовложений; $Q_{год.\,н}$ — годовая производительность машины новой модели; $K_З$ — коэффициент, учитывающий влияние улучшения качества проектирования на качество изделия.

Более подробные рекомендации по оценке уровня качества продукции приведены в методике ВНИИС и ВНИИНМаш.

Во втором случае экономия от снижения затрат на технологическую оснастку

$$Э_З' = Э_н + Э_к, \qquad (44)$$

где $Э_н$, $Э_к$ — соответственно экономия благодаря использованию нормализованных конструкторских элементов и повышению качества проектируемой оснастки.

Слагаемое $Э_н$ зависит от следующих факторов: уровня $K_н$ нормализации конструкций приспособлений, проектируемых автоматически; возможности специализации и концентрации производства нормализованных элементов $K_{эп}$; повторного использования нормализованных элементов $K_{п.\,и}$; повторного использования нормализованных деталей и узлов $K_п$.

Экономия

$$Э_н = K_{эк} \sum_{i=1}^{n} A_i C_i, \qquad (45)$$

где n — число групп сложности проектируемой детали; A_i — объем проектируемой оснастки i-й сложности; C_i — стоимость единицы изготовленной оснастки i-й сложности; $K_{эк}$ — суммарный коэффициент относительной экономии.

Коэффициент

$$K_{эк} = K_н \left[K_{эц} + 0{,}8\,(1 - K_{эц})\, K_{п.\,и}\, \frac{K_п - 1}{K_п} \right], \qquad (46)$$

и для минимальных значений $K_н = 0{,}7$; $K_{п.\,и} = 0{,}7$; $K_п = 0{,}25$; $K_{эц} = 0{,}2$; $K_{эк} = 0{,}328$.

Экономию от повышения качества проектирования можно рассчитать по формуле

$$Э = S_1 П_1 - S_2 П_2, \qquad (47)$$

где S_1, S_2 — соответственно себестоимость единицы технологической оснастки до и после внедрения АСТПП; $П_1$, $П_2$ — потребность в технологической оснастке до и после внедрения АСТПП.

Если автоматизированное проектирование повлияло на стойкость инструмента, то экономия

$$Э_к = Ц\,(П_б - П_в) = Ц\,(П_б - П_б/K_{с.\,с}). \qquad (48)$$

Здесь $П_б$, $П_в$ — соответственно потребность в инструменте до и после внедрения АСТПП; $Ц$ — стоимость режущего инструмента; $K_{с.\,с} = K_{пер} K_{ст} = [(n_в + 1)/(n_б + 1)]\, C_в/C_б$ — коэффициент изменения срока службы инструмента, где $K_{пер}$ — коэффициент изменения количества переточек; $n_б$, $n_в$ — соответственно количество переточек до и после автоматизации; $K_{ст}$ — коэффициент изменения стойкости; $C_б$, $C_в$ — соответственно стойкость инструмента до и после автоматизации.

Наряду с повышением качества изделия автоматизация ТПП приводит также к снижению себестоимости изделия, что обусловлено следующими факторами: повышением коэффициента использования сырья и материалов; снижением трудоемкости механической обработки; снижением брака вследствие улучшения качества технической документации.

Расчет экономии благодаря повышению коэффициента использования металла производится по формуле

$$Э'_4 = \sum_{i=1}^{n} (H_{бi} - H_{вi})\, N_{пi} Ц_i, \qquad (49)$$

где $H_{бi}$, $H_{вi}$ — соответственно норма расхода металла на i-ю деталь до и после внедрения АСТПП; $N_{пi}$ — годовая программа выпуска i-х деталей; $Ц_i$ — цена 1 кг металла, идущего на изготовление i-й детали; n — количество видов деталей с изменившейся нормой расхода.

Если снижение трудоемкости механической обработки от внедрения АСТПП достигнуто путем оптимизации выбора заготовки, профиля проката и назначения рациональных припусков, то экономия от снижения затрат по заработной плате основных рабочих вычисляется по формуле

$$Э''_{5\,(1)} = t_м r_{ср} (1 + K_{доп}) (1 + K_{отч}), \qquad (50)$$

где $t_м$ — снижение трудоемкости механической обработки; $r_{ср}$ — среднечасовая тарифная ставка станочника.

Если снижение трудоемкости механической обработки происходит благодаря усовершенствованию технологического процесса механической обработки деталей, внедрению оптимальных режимов резания, то экономия

$$Э''_{5(2)} = \sum_{i=1}^{n} [t_i (1 - K_м) N_{пi}] r_{ср} (1 + K_{доп}) (1 + K_{отч}), \quad (51)$$

где $K_м = t_{вн\,i}/t_i$ — коэффициент, учитывающий снижение трудоемкости механической обработки после внедрения АСТПП; t_i — трудоемкость механической обработки i-й детали до внедрения АСТПП; $N_{пi}$ — годовая программа выпуска i-й детали; $t_{вн\,i}$ — трудоемкость механической обработки i-й детали после внедрения АСТПП.

Экономия от повышения качества технической документации

$$Э''_в = П_б \gamma, \quad (52)$$

где $П_б$ — потери от брака до внедрения АСТПП из-за ошибок в технической документации; γ — коэффициент, учитывающий снижение потерь от брака в результате внедрения АСТПП.

Оценка влияния АСТПП на народное хозяйство в целом. В социалистическом обществе АСТПП ускоряет темпы технического прогресса, приводит к унификации, типизации и стандартизации проектных решений, уменьшает потребности в инженерных кадрах.

В технологической унификации и стандартизации могут быть выделены следующие основные задачи: типизация технологических операций и процессов; унификация технологической документации; агрегатирование и стандартизация оборудования; стандартизация и унификация технологической оснастки.

Экономический эффект от унификации и стандартизации

$$Э'_1 = \sum_{i=1}^{n} \left[(1 - K_i) \sum_{j=1}^{m} Q_j C_j \right], \quad (53)$$

где n — число разновидностей направлений унифицированных мероприятий на стадии ТПП; K_i — коэффициент снижения затрат на соответствующую стадию ТПП при внедрении мероприятий по унификации; Q_j — число элементов подготовки по каждому этапу; C_j — затраты на разработку соответствующего элемента подготовки; m — число групп сложности соответствующих элементов подготовки.

Опыт внедрения отдельных подсистем АСТПП на заводах страны показывает, что автоматизация проектирования позволяет изменить структуры затрат времени по этапам проектирования. Анализ результатов внедрения автоматизированного проектирования и нормирования технологических процессов обработки деталей типа зубчатого колеса на Минском заводе автоматических линий показывает, что трудоемкость снизилась в 5,5 раза (табл. 27).

Народнохозяйственный эффект от относительного уменьшения потребности государства в инженерных кадрах при внедрении АСТПП на предприятии можно определить по формуле

$$Э_3 = C \sum_{i=1}^{n} N_i (1 - K_i), \quad (54)$$

27. Трудоемкость различных этапов проектирования на Минском заводе автоматических линий

Этап проектирования	Затраты времени на один процесс (мин) при проектировании	
	ручном	машинном
Кодирование чертежей	—	1,5
Перфорация данных и кодировочных карт	—	1,0
Классификация деталей и их шифровка	1,5	—
Обработка информации на МСС и выдача табуляграмм	3,0	—
Комплектация чертежей по группам	0,5	—
Проектирование технологических процессов	20,0	2,0
Нормирование технологических процессов	10,0	—
Комплектация чертежей с технологическими процессами	—	0,5
Проверка технологических процессов	1,0	1,5
Итого	36,0	6,5

где $C = 5000$ р. — прямые затраты на подготовку и обучение одного инженера; N_i — численность инженеров, занимающихся решением задач i-го типа; n — число решаемых задач; K — коэффициент, учитывающий уменьшение затрат инженерного труда с вводом АСТПП. Опытные данные для K Института технической кибернетики АН БССР следующие:

Вид работы	K
Проектирование:	
технологии	0,20—0,15
режущих инструментов	0,10—0,07
штампов	0,50—0,35
станочного приспособления	0,33—0,20
Расчет режимов резания и нормирования	0,20—0,15

Пример. Рассчитаем экономическую эффективность от внедрения АСТПП для проектирования сложнорежущего инструмента и станочного приспособления на предприятии с серийным производством.

Исходные данные для расчета следующие:

Плановая программа выпуска изделий, шт./день	170
Время освоения аналогичного изделия до внедрения АСТПП, дни	250
Коэффициент, учитывающий влияние автоматизации на цикл освоения	0,9
Доля условно-постоянных расходов, приходящихся на единицу изделия, руб	80,12
Экономия, которую дает вновь осваиваемое изделие в сфере эксплуатации в единицу времени, руб/день	5
Сокращение длительности проектирования, дни:	
станочных приспособлений	15
режущего инструмента	10
Годовой фонд заработной платы исполнителей, руб.	1 440
Коэффициент дополнительной заработной платы	0,1
Коэффициент отчислений в фонд социального страхования	0,077
Годовой фонд полезного времени работы исполнителей, ч	1 900
Коэффициент, учитывающий накладные расходы предприятия	0,6
Себестоимость машино-часа работы ЭВМ, руб.	13
Стоимость машино-часа работы чертежно-графического автомата «Итекан-2», руб	1,72
Коэффициент, учитывающий влияние улучшения качества проектирования на качество изделия в целом	0,005

Удельная (на единицу производительности изделия) себестоимость продукции или работ, осуществляемых с помощью выпускаемых изделий в год, руб.:
старая 0,59
новая 0,6
Удельные капитальные вложения на одно изделие, (руб.) на инструмент:
старого образца 0,69
нового образца 0,60
Нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений 0,15
Годовая производительность изделия нового образца, шт. 4 000
Потери от брака до внедрения автоматизации проектирования из-за ошибок в технической документации, тыс. руб. 9
Коэффициент, учитывающий снижение потерь от брака при автоматизации проектирования 0,1
Суммарный коэффициент относительной экономии от нормализации 0,328
Стоимость единицы изготовленного в металле приспособления, руб., по группам сложности:
I 8
II 24
III 70
IV 170
Количество проектируемых приспособлений по I—IV группам сложности, шт. 600
Цена единицы режущего инструмента, руб. 25
Потребность в режущем инструменте, шт.:
до внедрения автоматизации инструментального проектирования 11 400
после внедрения автоматизации инструментального проектирования 10 260
Коэффициент снижения затрат на проектирование приспособлений благодаря внедрению унифицированных мероприятий 0,9
Количество групп сложности проектируемых приспособлений 4
Количество приспособлений, которые надо было проектировать до внедрения автоматизированного проектирования (шт.) по I—IV группам сложности 667
Численность инженеров, занимающихся проектированием:
приспособлений 20
инструментов 10
Коэффициент, учитывающий уменьшение затрат инженерного труда при автоматизации проектирования:
приспособлений 0,33
инструментов 0,1
Затраты на подготовку одного инженера (прямые затраты на обучение), тыс. руб. 5

Результаты расчета сведены в табл. 28 [1].

28. Результаты расчета

Сфера производства и потребления	Источники эффективности	Результаты расчета, тыс. руб
Подготовка производства	Снижение трудоемкости проектирования	62,33
Итого		62,33

Продолжение табл. 28

Сфера производства и потребления	Источники эффективности	Результаты расчета, тыс. руб.
Основное производство	Ускорение перехода и освоение выпуска новой продукции	170,25
	Снижение затрат на технологическую оснастку	52,18
	Снижение брака вследствие улучшения качества технической документации	0,9
Итого		223,33
Использование результатов производства	Эффект, получаемый за счет ускорения ввода нового изделия в эксплуатацию	27,2
	Относительное уменьшение потребности государства в инженерных кадрах	110
	Улучшение эксплуатационных свойств изделия	9
Итого		146,2
Народнохозяйственный эффект		431,86

Приведенные примеры показывают, что автоматизация технологической подготовки производства при правильной ее организации экономически оправдана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства в машиностроении. Под ред О. И. Семенкова. Минск, «Высшая школа», 1976, 420 с

2. Автоматические системы управления технологическими процессами. МДНТП им Дзержинского, 1975, 182 с.

3 Некоторые вопросы автоматизации технологических процессов в машиностроении. М., Всесоюзный заочный машиностроительный институт, 1971, 187 с.

4 Кокс Д., Смит В. Теория восстановления. М. «Советское радио», 1967, 298 с.

5. Электропривод и автоматизация в машиностроении. М., Всесоюзный заочный машиностроительный институт Научные труды. Вып. 24, 1974, 122 с.

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Глава 5

СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Средства автоматизации предназначаются для получения готовой продукции из исходного материала с помощью различных автоматических механизмов.

Средства автоматизации управляются следующими системами: управления последовательностью действия основных и вспомогательных механизмов; регулирования (корректируют работу механизмов по результатам воздействия на объект обработки); блокирования (обеспечивают безаварийность работы оборудования и безопасность его обслуживания); контроля (аттестуют форму, размеры, качество и состояние обрабатываемого и готового продукта); сигнализации (облегчают работу обслуживающего персонала, например по установлению времени смены или подналадки инструментов, ремонтов, по отысканию причин отказов и т. д.).

Управление механизмами выполняется электрическими, механическими, гидравлическими, пневматическими и комбинированными средствами, которые, в свою очередь, делятся на внешние, промежуточные и вспомогательные.

Под внешними средствами автоматизации подразумевают такие, которые обеспечивают согласованную работу независимых автоматизированных участков производства. Промежуточные средства — те, которые обеспечивают согласованную работу отдельных агрегатов участков производства.

К вспомогательным относят средства, связывающие системы управления агрегатов с другими системами управления.

Внешние и вспомогательные средства практически всегда выполняют электрическими, а промежуточные — чаще комбинированными (электромеханическими, электропневматическими и электрогидравлическими).

Задачи управления средствами автоматизации чаще всего решаются электрическими устройствами.

Далее рассмотрены средства автоматизации, наиболее часто используемые в системах автоматического управления.

ДАТЧИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

По назначению датчики, используемые в металлорежущих станках, делят на путевые, размерные и т. д., а по характеру выдаваемых сигналов — на механические, электрические, пневматические, гидравлические и т. д.

Наиболее часто путевыми датчиками механического типа, выдающими сигналы о перемещениях, являются кулачки и упоры.

Подвижная часть станка, встречая на своем пути жесткий упор, лишена возможности продолжать перемещение, и в цепи ее привода усилия возрастают. Как только они превысят заданную величину, происходит срабатывание исполнительного звена, например, муфты (рис. 1); ее правая часть *1* переместится по валу вправо, нажмет на рычаг *2*, нижний конец которого включит конечный выключатель *3*.

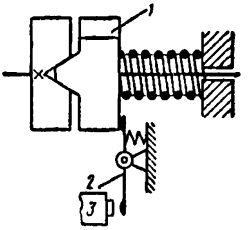


Рис. 1. Схема срабатывания исполнительного звена станка

Подвижной упор может крепиться как на неподвижной, так и на движущейся части станка.

Широкое применение получили электрические путевые датчики-переключатели. На рис. 2 показаны конструкции путевых переключателей. На рис. 2, *а* изображен путевой переключатель ВПК-2000, контакты которого срабатывают при нажатии упора *1* на ролик *2*. На рис. 2, *б* показан путевой датчик моментного действия ВК-200. При нажатии упором на ролик *1* рычаги *2* и *3* поворачивают планку *4*, переключая контакты *5*. На рис. 2, *в* показан путевой микровыключатель МП-110, широко применяемый в настоящее время благодаря высокой точности останова (0,3—0,7 мм). Если подвижная часть станка совершает не поступательное, а вращательное движение, то применяется поворотный путевой переключатель (рис. 2, *г*). На вращающемся валу укреплен диск *1*, имеющий на торцовых поверхностях пазы для крепления в требуемом положении двух кулачков *2* и *3*. Контакты *4* замкнуты планкой *5* рычага *6*, который фиксируется в этом положении защелкой *11*, удерживаемой пружиной *12*.

При вращении диска *1* кулачок *3* нажимает на ролик *8* и поворачивает рычаг *14* вокруг оси *13*, отводя вниз защелку *11*.

Пружина *10* поворачивает рычаг *6* вокруг оси *7*, размыкая контакты *4*. Эти контакты замыкаются, когда кулачок *2* при вращении диска *1* нажимает на ролик *9*. Пружина *12* поднимает защелку *11* для фиксации рычага *6* в данном положении.

Переключение контактов путевых выключателей в цепях управления вызывает останов, изменение величины подачи, реверсирование движения подвижных органов станка. Если путевые выключатели установлены в конце пути, их называют конечными. Это название часто распространяют на все путевые выключатели независимо от места их установки.

Существенные недостатки приведенных путевых конечных электроконтактных датчиков — износ (эрозия) контактов и образование окисных пленок, плохо проводящих электрический ток, что приводит к потере стабильности и точности системы автоматического управления.

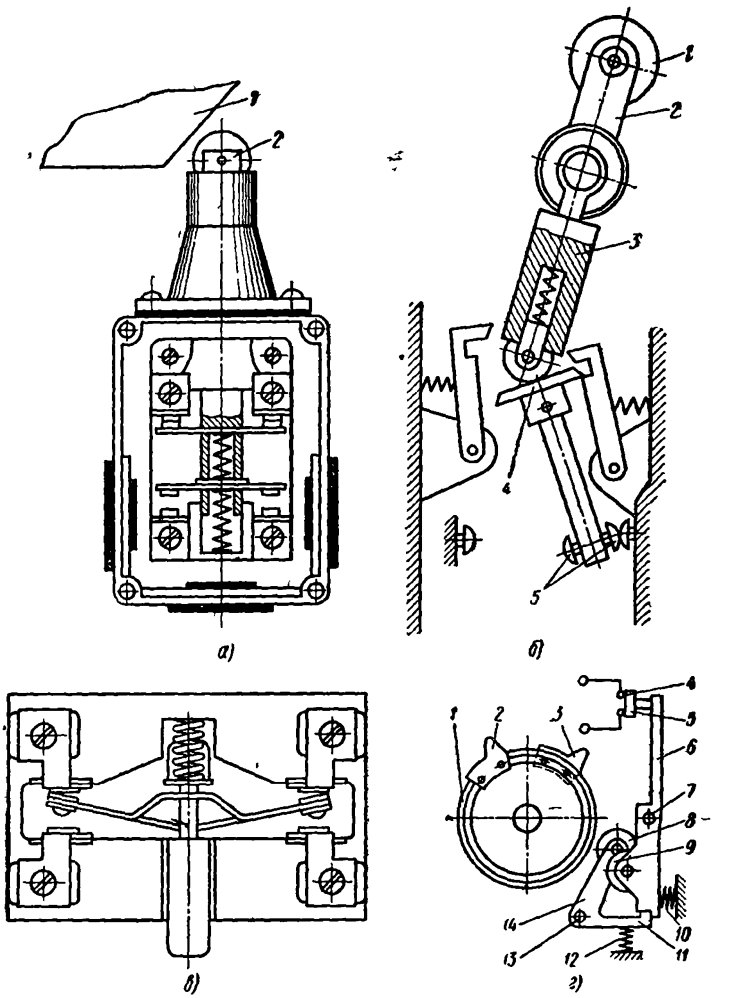


Рис. 2. Конструкции путевых датчиков-переключателей

В настоящее время широко применяются путевые бесконтактные датчики, имеющие высокую точность срабатывания, обеспечивающие надежную работу практически при любых скоростях (от 1 до 300 м/мин) движущихся частей станков и обладающие неограниченным сроком службы.

На рис. 3 показана схема индуктивного конечного бесконтактного выключателя. Работа его основывается на изменении сопротивления

катушки *3* при изменении положения стального якоря *1* в скобе магнитопровода *2*.

При введенном якоре *1* магнитопровод *2* замкнут, сопротивление мало, и по цепи идет значительный ток, поступающий в катушку промежуточного реле, которое и переключает контакты.

К гидравлическим датчикам относят краны управления и золотники, срабатывающие под действием упоров, помещенных на подвижных рабочих органах станков, или от электромагнитов. Такие устройства широко используют в металлорежущих станках и других машинах с гидросистемами.

На рис. 4 показан кран гидравлической системы с управлением от кулачка рабочего органа станка. Плунжер *1* поднят вверх пружиной *4*.

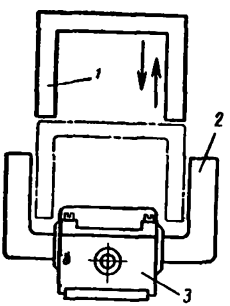


Рис. 3. Схема индуктивного конечного бесконтактного выключателя

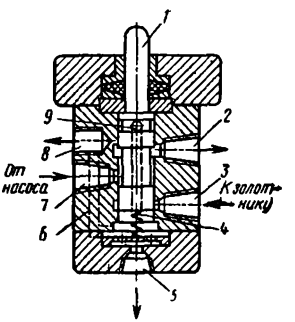


Рис. 4. Конструкция крана управления гидравлической системой

В таком положении плунжера масло от насоса поступает через отверстия *2* и *7* к рабочему цилиндру привода, а из цилиндра — в бак через отверстия *3* и *5* или через канал *6* и отверстие *8*. Когда под действием упора движущейся части станка плунжер опускается, он перекрывает доступ масла к отверстию *2*, и масло направляется к цилиндру через отверстие *3*, а обратный поток проходит в бак через отверстие *2*, канал *9* и отверстие *5* или *8*.

В пневматических системах применяют устройства, аналогичные описанному; в них движущая часть станка производит соответствующие переключения.

На рис. 5 показан пневматический клапан, который срабатывает под действием упора подвижной части станка. Сжатый воздух подводится к отверстию *3*. Когда плунжер *11* освобождается от воздействия упора рабочего станка, толкатель *10* под действием пружины *9* поднимается вверх. Резиновая прокладка *7* клапана *6* прижимается к седлу корпуса *4* пружиной *5* и давлением сжатого воздуха, подводимого от сети через отверстие *3*. Отверстие *2* в этом положении клапана сообщается с атмосферой через каналы *8* и *1*. При опускании плунжера *11* и толкателя *10* клапан *6* тоже перемещается вниз, и сжатый воздух из отверстия *3* поступает в отверстие *2*.

Размерные датчики служат для измерения отклонений параметров. Условия работы датчиков, часто находящихся в соприкосновении с из-

меряемой деталью, требуют определенных эксплуатационных качеств — точности, прочности, надежности, виброустойчивости, защищенности от охлаждающих жидкостей и т. д. Кроме того, датчики должны удовлетворять общим требованиям для всех автоматических устройств — быть быстродействующими, высокочувствительными и стабильными в работе.

Размерными механическими датчиками являются микрометры зубчатые (рис. 6), называемые часто индикаторами, рычажно-зубчатые

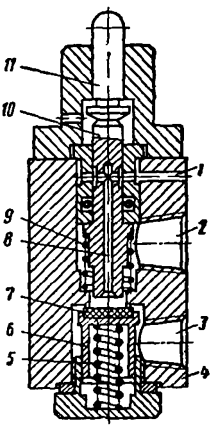


Рис. 5. Пневматический клапан

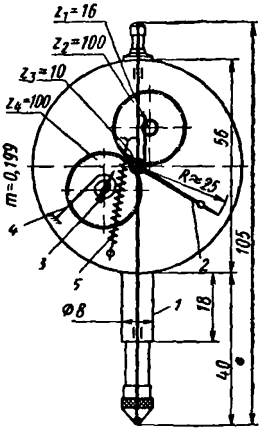


Рис. 6. Схема индикатора часового типа:

1 — измерительный стержень с зубчатой рейкой, *2* — основная стрелка; *3* — стрелка счетчика оборотов основной стрелки; *4* — пружинный волосок, устраняющий мертвый ход в зубчатой передаче; *5* — пружина, создающая измерительное усилие

(рис. 7) пружинные и др.

В табл. 1 приведены основные характеристики широко применяемых микрометров.

Пружинные микрометры длительное время работают без снижения точности благодаря отсутствию контактных пар трения.

В электрических датчиках линейная величина превращается в электрическую, которая, в свою очередь, превращается в сигнал и в линейное перемещение отдельных элементов регистрирующих или регулирующих устройств.

У электрических приборов по сравнению с механическими следующие преимущества: возможность территориального разделения мест измерения и получения результатов; возможность использования результатов измерения в виде электрических величин в автоматических контрольных и сортировочных устройствах, а также непосредственно в станках; удобство в эксплуатации.

Наиболее распространенные электрические датчики — электроконтактные, а менее распространенные — индуктивные и емкостные.

Электроконтактные датчики отличаются простотой преобразования измерительного сигнала в исполнительный, дешевизной и достаточной производительностью при погрешности срабатывания порядка 1—2 мкм.

В зависимости от назначения применяют одно-, двух- и многопредельные электроконтактные датчики. Наибольшее распространение получили двухпредельные датчики. Они имеют две пары контактов и могут разделять измеренные детали на три группы: годные, бракованные исправимые и бракованные неисправимые.

На рис. 8, *а* показана принципиальная схема включения измерительного устройства с двухпредельным электроконтактным датчиком. В зависимости от размера измеряемой детали *1* шток *2* передвигает рычаг *3* так, что он может замыкать один из контактов *4* или *5*.

Применяют рычажные и безрычажные электроконтактные датчики. Рычажный датчик (рис. 8, *б*) имеет передаточный механизм, обычно в виде неравноплечего рычага *1*, где перемещение измерительного штока *2* возрастает в зависимости от соотношения плеч рычага. Рычаги имеют отношение плеч 1 2, 1 : 5; 1 : 10 и т. д. С уменьшением передаточного отношения рычагов (в направлении от измерительного штока к рычажному контакту) точность работы датчика возрастает вследствие снижения погрешности настройки.

В безрычажном датчике (рис. 8, *в*) хомутик *2*, закрепленный на штоке *1*, через штифт *4* соединяется с одним из контактов *3* или *5*.

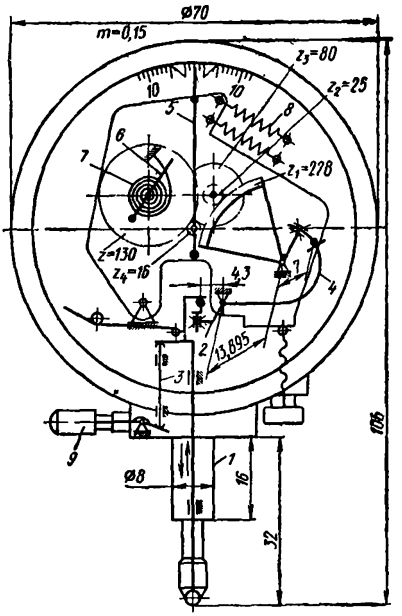


Рис. 7. Схема рычажно-зубчатого микрометра 1ИГМ:

1 — измерительный стержень; *2* и *4* — неравноплечие рычаги; *3* — штифт; *5* — основная стрелка; *6* — стрелка, указывающая числа оборотов основной стрелки; *7* — пружинный волосок, устраняющий мертвый ход в передаче, *8* — пружина, создающая измерительное усилие; *9* — арретир, обеспечивающий подъем измерительного стержня

Точность и стабильность работы электроконтактных датчиков в значительной мере определяются явлениями, происходящими в их контактах: механическими повреждениями, эрозией и коррозией контактов. Механическое повреждение контактов зависит от износостойкости материала контактов и от контактного усилия. Лучшие материалы для контактов — вольфрам и его сплавы.

Для защиты контактов от эрозии применяют специальные схемы, которые не допускают искрообразования и предотвращают образование электрической дуги. Согласно ГОСТ 3899—68 напряжение на контактах не должно превышать 50 В, а сила тока — 200 мкА.

В СССР выпускают рычажные электроконтактные датчики мод. 228, 229 и 233 и безрычажный датчик КДМ-13 (табл. 2).

1. Основные характеристики микромеров

Микромер	Тип	Цена деления, мм	Предел измерения, мм	Допустимая погрешность, мкм
Зубчатый	ИЧ-2	0,01	2	12
	ИЧ-5	0,01	5	18
	ИЧ-10	0,01	10	22
Рычажно-зубчатый	1МКМ	0,001	0,05	0,5
	2МКМ	0,002	0,1	1,0
	1ИГМ	0,001	1	3 *
	2ИГМ	0,002	2	4 *
Пружинный (микрокатор)	0,1ИГП	0,0001	0,003	0,2
	0,5ИГП	0,0005	0,015	0,5
	1ИГП	0,001	0,03	0,8
	5ИГП	0,005	2,0	4,0
	10ИГП	0,01	4,0	5,0

* На одном обороте стрелки

2. Характеристики предельных электроконтактных датчиков

Характеристика	Модель			
	228	229	233	КДМ-13
Число контактов	2	3	2	1
Пределы измерения, мм	0—1	0—1	0—0,4	0—3
Измерительное усилие, кгс	0,300	0,500	0,03—0,06	0,300
Погрешность срабатывания, мкм	±1	±1	±0,5	±4
Масса, г	420	420	200	115
Габарит, мм	136×66×21	136×66×21	83×48×16	96×45×17

Многопредельные электроконтактные датчики применяют для сортировки обработанных деталей на большое количество групп в контрольных автоматах. На рис. 9 приведена схема многопредельного электроконтактного датчика мод. БВ-6048. При измерении стержень *1* перемещает рычаг *2*, зубчатый сектор *3* и трибку *4*, на оси которой установлена стрелка *5*. Для устранения люфта в зубчатой передаче предназначена пружина *6*. В зависимости от размера измеряемой детали стрелка соединяется с одним из контактов *7*, в результате чего открывается соответствующая заслонка бункера, в который скатываются детали. Производительность контрольного автомата с помощью этого датчика зависит от числа групп, на которые сортируются детали. При 10—15 группах производительность составляет до 10 000 дет/ч, при 30—35 группах — 6000 дет/ч.

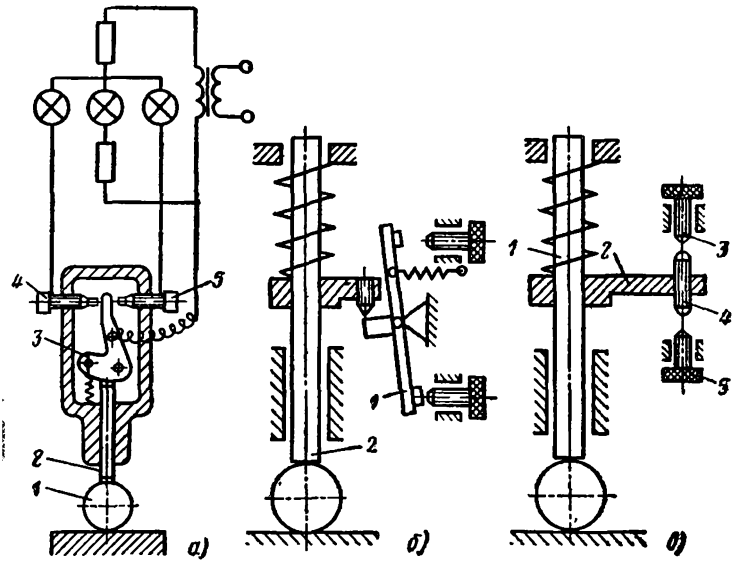


Рис. 8. Схемы электроконтактных датчиков:
а — двухпредельного, *б* — рычажного, *в* — безрычажного

3. Характеристики амплитудных электроконтактных датчиков

Характеристика	Модель	
	248	КДМ-14
Пределы измерения, мм	0—0,2	0—3
Цена деления барабана настроечного винта, мм	0,002	0,005
Измерительное усилие, кгс	0,1—0,3	0,300
Погрешность срабатывания, мкм	±0,7	±2
Смещение настройки контактов за 25 000 срабатываний, мкм	±0,7	±4
Габарит, мм	126×66×21	93×48×17
Масса,	460	100

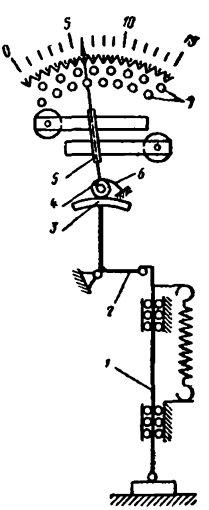


Рис. 9. Схема многопредельного электроконтактного датчика БВ-6048

Характеристики датчика БВ-6048

Цена деления шкалы (интервал сортировки), мкм	1; 2; 10; 20
Предел измерения, мм	0,034; 0,068; 0,34; 0,68
Измерительное усилие, кгс	0,25
Число рабочих контактов	35
Максимальное напряжение тока на контактах, В	40

Амплитудные электроконтактные датчики (табл. 3) служат для контроля отклонений формы и расположения поверхностей, например для контроля овальности шейки вала, параллельности двух поверхностей и т. д.

Амплитудные датчики бывают только двухконтактными, поскольку при измерении определяют лишь разницу между максимальным и минимальным размерами. Применяют рычажные или безрычажные (менее точные) датчики. Широко применяют рычажный амплитудный датчик мод. 248 и безрычажный КДМ-14.

Индуктивные датчики (табл. 4) отличаются высокой точностью, небольшими габаритными размерами и способностью вести дистанционные измерения.

4. Характеристики индуктивных датчиков

Модель	Диапазон измерений, мм	Интервал сортировки, мкм	Измерительное усилие, гс
222	0,001—0,025	0,02—0,50	50
223, 224	0,06—0,12	0,1—2,0	25
234	15.	0,5—5,0	90

Примечание. Погрешность измерения ±0,5%.

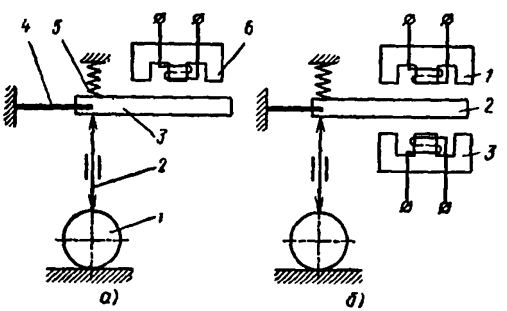


Рис. 10. Схемы индуктивных датчиков: *а* — простого; *б* — дифференциального

В индуктивных датчиках линейное перемещение измерительного штока преобразуется в изменение индуктивности катушки. Эти датчики выполняют простыми и дифференциальными.

Простые индуктивные датчики имеют одну катушку (рис. 10, *а*). При увеличении размера контролируемой детали *1* измерительный шток

2 датчика, преодолевая усилие пружины *5*, будет оказывать давление на якорь *3*, который подвешен на плоской пружине *4* и может поворачиваться. Поворот якоря изменяет воздушный зазор между магнитопроводом *6* катушки и якорем, что приводит к изменению индуктивности катушки.

В дифференциальном индуктивном датчике (рис. 10, *б*) имеются две катушки *1* и *3*. Если при перемещении якоря *2* зазор между якорем и катушкой *1* увеличивается, то зазор между якорем и второй катушкой *3* уменьшается. Вследствие этого изменяются индуктивности обеих катушек, что позволяет в 2 раза увеличить чувствительность измерительной схемы.

У приведенных датчиков с перемещением измерительного штока изменяется размер воздушного зазора между якорем и катушками. На рис. 11, *а* показана конструкция дифференциального индуктивного датчика БВ-6009 с переменной длиной воздушного зазора, номинальный размер которого 0,25 мм, на рис. 11, *б* — конструкция аналогичного датчика БВ-844.

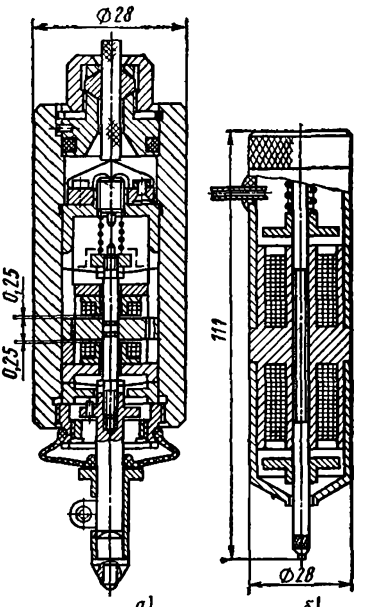


Рис. 11. Конструкции индуктивных дифференциальных датчиков:
а — БВ-6009; *б* — БВ-844

Применяют также индуктивные датчики с переменной площадью воздушного зазора (рис. 12, *а*). Такие датчики хорошо работают при больших перемещениях измерительного штока. Используются индуктивные датчики и трансформаторного типа, у которых перемещение якоря влияет на индуктивную связь между двумя катушками. На рис. 12, *б* показан простой, а на рис. 12, *в* — дифференциальный трансформаторный индуктивный датчик. Такие датчики широко применяют в станках с программным управлением как импульсные преобразователи больших перемещений. В этих датчиках переменной служит площадь зазора между якорем и сердечником.

Для измерения перемещений в несколько десятков миллиметров используют индуктивные датчики соленоидного типа. Такой датчик состоит из двух катушек, внутри которых находится сердечник-якорь. При перемещении якоря индуктивность катушек меняется пропорционально его массе. Цена делений соленоидных датчиков — от 0,05 до 1 мкм. На рис. 13 изображена схема дифференциального индуктивного датчика соленоидного типа мод. БВ-6067 для измерения больших перемещений.

В электроемкостных датчиках перемещение измерительного стержня преобразуется в изменение емкости конденсатора.

Емкостные датчики пока не нашли широкого применения в промышленности.

Проволочные датчики (тензодатчики) используют для измерения малых перемещений или деформаций и напряжений в деталях различных механизмов. Проволоку диаметром 0,02—0,05 мм наклеивают на

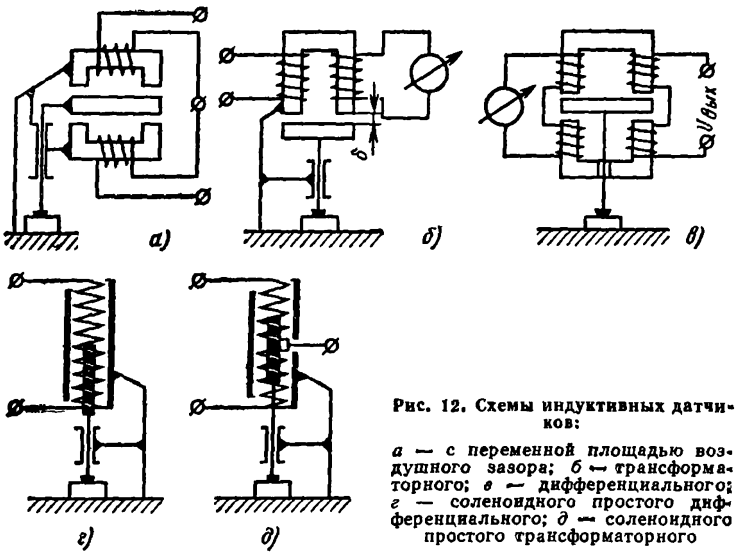


Рис. 12. Схемы индуктивных датчиков:

а — с переменной площадью воздушного зазора; б — трансформаторного; в — дифференциального; г — соленоидного простого дифференциального; д — соленоидного простого трансформаторного

плотную бумагу толщиной 0,01—0,02 мм (рис. 14). Для измерения деформации детали тензодатчики наклеивают на нее. Эти датчики чувствительны к изменению температуры.

Фотоэлектрические датчики — приборы высокой чувствительности, у них малые габариты, простая конструкция, они легко встраиваются в системы автоматического регулирования. В зависимости от типа применяемых фотоэлементов фотодатчик может реагировать на изменение силы светового потока, площадь освещенной поверхности, на появление или исчезновение светового луча и на число световых импульсов. В соответствии с этим определяется и контролируемая величина.

Фотоэлектрические датчики имеют малую выходную мощность и требуют применения усилительных устройств; они чувствительны к колебаниям напряжения в сети.

Основа фотоэлектрического датчика — фотоэлемент. На рис. 15, *а* показана принципиальная схема установки с фотоэлектрическим датчиком, где измеряется световой поток, определяющий размер измеряемой детали *9*. От электрической лампочки *1* световой поток проходит линзу *2* и щелевую диафрагму *3* и падает на фотоэлемент *4*. Часть диафрагмы

прикрыта заслонкой *6*, поэтому величина светового потока, падающего на фотоэлемент *4*, определяется размером детали *9*. Этот поток создает в фотоэлементе электрический ток, измеряемый микроамперметром *5*. Заслонка *6* соединена рычагом *7* и измеряемым штоком *8* с контролируемой деталью *9*.

Фотоэлектрический датчик обычно устанавливается в конце измерительной схемы; он выполняет роль исполнительно-командного устройства. На рис. 15, *б* показан вентильный фотоэлемент с селеновым слоем, состоящий из полупрозрачной пленки золота *4*, являющейся

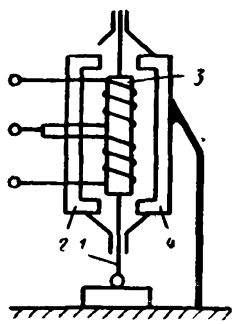


Рис. 13. Схема дифференциального соленоидного датчика БВ-6067:

1 — измерительный стержень, *2* и *4* — катушки; *3* — якорь

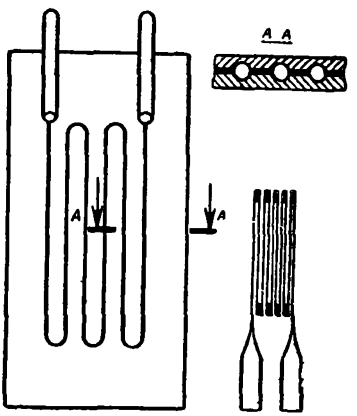


Рис. 14. Тензодатчик

контактом запирающегося слоя *3*, слоя селена *2* и стальной подкладки *1*, которая служит вторым контактом.

Световой поток, проходя через золотую пластину *4*, создает вентильный фотоэффект, являющийся источником самостоятельной электродвижущей силы. Поэтому вентильные фотоэлементы не нуждаются во внешнем источнике электрического питания.

В настоящее время много других фотоэлектрических датчиков выпускаются отечественной промышленностью (табл. 5).

5. Характеристики фотоэлектрических датчиков

Модель	Диапазон измерений, мм	Длина интервала сортировки, мкм	Число групп сортировки	Измерительное усилие, гс
ПФС05	0—0,025	0,5	10	
ПФС1	0—0,05	1	40	200
ПФС2	0—0,01	2	50	
ПФС5	0—0,25	5	—	300

В метрологии начинают применять датчики с лазерами, которые создают излучение более интенсивное, чем другие источники света.

Находят применение газовые лазеры с непрерывным излучением при различных интерференционных измерениях с использованием лазерного интерферометра.

На рис. 16 показана схема устройства для непрерывного контроля диаметра обтачиваемого вала. Из лазера *1* луч падает на полупрозрачное зеркало *3*. Отраженная составляющая луча попадает на зеркало *2*, отражается от него и, проходя вновь через зеркало *3* и диафрагму *4*, приходит к фотоумножителю *5*. Луч лазера, кроме того, проходит через зеркало *3*, отражается от обрабатываемой поверхности, возвращается к зеркалу и, отражаясь от него, проходит также через диафрагму *4* на фотоумножитель *5*. Таким образом, как и в обычном интерферометре, на фотоумножитель попадают два луча один, отраженный

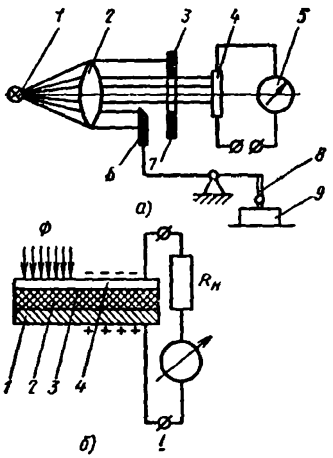


Рис. 15. Схемы установок с фотоэлектрическими датчиками.

а — с диафрагмированием светового потока, *б* — вентильного

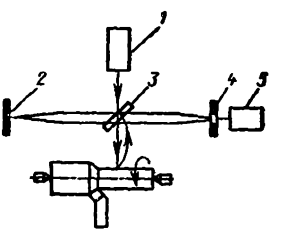


Рис. 16. Схема лазерной установки для непрерывного контроля наружного диаметра обтачиваемого вала

от неподвижного зеркала *2*, а второй — от обрабатываемой поверхности, которая играет роль подвижного зеркала.

Пневматические датчики ввиду простоты их устройства получают широкое распространение при контроле точных деталей в массовом и серийном производстве, особенно при измерении в процессе обработки и при автоматизации контроля. Работа пневматических датчиков основана на изменении расхода или давления воздуха в зависимости от площади выходного отверстия, дающего выход воздуху в атмосферу. По способу определения расхода воздуха пневматические приборы делятся на две группы: приборы с переменным перепадом давления и приборы с постоянным перепадом давления

Приборы с переменным перепадом давления, в свою очередь, делятся на приборы низкого давления (500—1200 кгс/м^2) и приборы высокого давления (1—2,5 кгс/см^2 и более).

Принципиальная схема пневматического датчика с переменным перепадом низкого давления (типа «Солекс») показана на рис. 17 Сжатый воздух из сети поступает через редукционный клапан *1* и жиклер *2* в камеру *3*, а выходит в атмосферу по шлангу *7* через отверстия пробки *6*

и зазор между пробкой *6* и стенками измеряемого отверстия детали *5*. Трубка *8* погружена в наполненный водой сосуд *9*, служащий для поддержания постоянства давления воздуха перед жиклером *2*. Трубка *4*, соединяющая камеру *3* с сосудом *9*, является водяным манометром. Давление воздуха, поступающего в камеру *3*, зависит от глубины погружения *H* трубки *8*. При повышении давления в сети избыток воздуха будет выделяться из воды в виде пузырьков, выходящих из нижнего конца трубки *8*, и давление воздуха, подводимого в камеру *3*, будет сохраняться неизменным. Разность уровней *h* в сосуде *9* и трубке *4* водяного манометра зависит от зазора между измерительной пробкой *6* и отверстием детали *5*. Манометрическая трубка *4* градуируется в микронах.

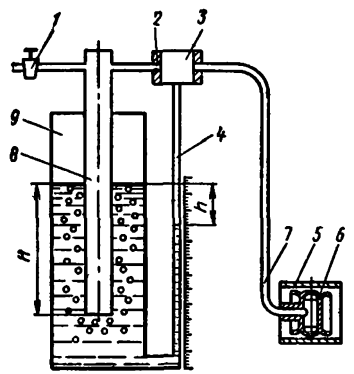


Рис. 17. Схема пневматического датчика «Солекс»

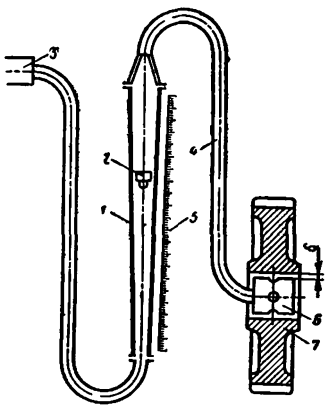


Рис. 18. Схема пневматического датчика «Ротаметр»

Конструкция пневматических датчиков низкого давления с водяным манометром проста, в этом их основное преимущество перед датчиками высокого давления. По метрологическим характеристикам эти датчики уступают датчикам высокого давления: шкала их неравномерна; поверхность контролируемых деталей должна быть тщательно подготовлена для измерения, так как наличие пленки масла или эмульсии искажает результаты измерения; повышена инерционность, следовательно, понижена производительность.

Датчики такого типа применяют для одновременного измерения одного, двух и более размеров.

Схема пневматического датчика «Ротаметр» с постоянным перепадом давления показана на рис. 18. Сжатый воздух поступает в фильтр и стабилизатор давления *3*, обеспечивающий постоянное давление 0,5—1 кгс/см^2, откуда направляется снизу в конусную вертикальную стеклянную трубку *1*. Конусность трубки 1: 400 или 1 : 1000. Внутри этой трубки находится свободно перемещающийся легкий поплавок *2*, поддерживаемый во взвешенном состоянии напором воздушного потока. Верхний конец трубки *1* соединяется резиновым шлангом *4* с пробкой *6* (для измерения отверстия в детали *7*). Воздух проходит в зазор между стенками отверстия детали *7* и пробкой *6*. Чем больше зазор δ, тем большее количество воздуха будет выходить и, следовательно, тем выше под-

нимается поплавок *2*. Отсчет производится по верхнему краю поплавка *2* на шкале *5*, закрепленной рядом с трубкой *1* или нанесенной на самой трубке. Точность измерения таких приборов — около 1 мкм. Поплавки в этих датчиках изготовляют из дюралюминия разной массы при одинаковых наружных диаметрах. Чувствительность прибора определяется массой поплавка, конусностью отверстия стеклянной трубки, соотношением наименьшего диаметра отверстия трубки и наружного диаметра поплавка, а также давлением воздуха.

Датчики такого типа распространены в промышленности благодаря простоте и дешевизне конструкции. Давления воздуха (0,5—1 кгс/см²) достаточно для удаления пыли и влаги с контролируемой детали.

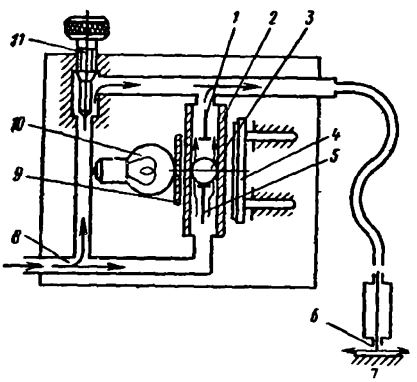


Рис. 19. Схема пневмоэлектрического датчика ЗИЛ

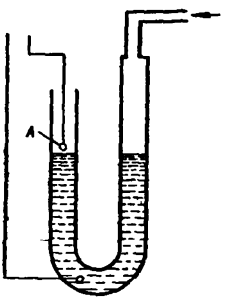


Рис. 20. Схема пневмоэлектроконтактного ртутного датчика

На автозаводе им. Лихачева сконструирован, изготовлен и испытан пневмоэлектрический датчик, работающий по принципу датчика «Ротаметр», но с измененной конструкцией стеклянной трубки (рис. 19). Этот датчик имеет конусную трубку *2*. В ней размещены два ограничителя *1* и *5* и шарик-поплавок *3*. Из сети воздух через фильтр и стабилизатор поступает в трубку *8*, затем разветвляется к конусной трубке *2* и к регулировочному винту *11*. Далее обе части потока воздуха соединяются и поступают в сопло *6*. При зазоре между соплом *6* и поверхностью измеряемой детали *7* меньше требуемого устанавливают регулировочный винт *11*, предусматривая, что расход воздуха должен быть таким, при котором шарик-поплавок *3* находился бы на нижнем ограничителе *5*. При увеличении зазора между соплом *6* и деталью *7* расход воздуха увеличивается, и поплавок поднимается до упора в верхний ограничитель *1*. При наличии конусной стеклянной трубки *2* поплавок не имеет промежуточных положений между ограничителями *1* и *5*, и крайние положения его соответствуют только двум значениям «Годен» и «Не годен». При перемещении в верхнее положение поплавок пересекает световой луч, идущий от электрической лампочки *10* через диафрагму *9* к фотоэлементу *4*.

Автоматические контрольные устройства с пневматическими датчиками преобразуют первичный измерительный импульс пневмоэлектрическим способом, для чего соответствующие приборы выполняют

либо с ртутным контактом, либо с контактом, укрепленным в мембране, либо с сильфонами. В пневмоэлектрических устройствах с контактами применяют ртутные манометры с одним или несколькими контактами, включенными в цепь лампы, электромагнита или реле. Чувствительность ртутного манометра ниже чувствительности водяного манометра, поэтому погрешность контроля ртутно-контактными пневматическими устройствами обычно не менее 1 мкм.

На рис. 20 показана принципиальная схема пневмоэлектроконтактного ртутного датчика, состоящего из стеклянной V-образной трубки, заполненной ртутью. В одном или обоих коленьях устанавливают один или несколько электрических контактов *А*. При повышении давления воздуха ртуть в левом колене поднимается, замыкает контакт *А* и дает команду исполнительному элементу контрольного устройства или станка. Часто оба колена разъединяют мембраной, препятствующей выбросу ртути при большой разности давлений воздуха в коленьях.

Пневмоэлектроконтактные датчики по принципу действия делят на простые и дифференциальные. В простых датчиках перемещение жидкости или упругого элемента (пружины, сильфона) определяется измерительным давлением.

У этих датчиков недостаточная стабильность и точность работы из-за колебания рабочего давления, поэтому их вытесняют дифференциальные датчики, обладающие большей точностью и стабильностью. Показания дифференциального датчика соответствуют разности давлений в ветвях пневматической системы, работа которой мало зависит от погрешностей стабилизатора давления воздуха. Применяют дифференциальные пневмоэлектроконтактные датчики следующих типов: ртутные, мембранные, пружинные (сильфонные) и комбинированные.

Дифференциальными датчиками удобно измерять диаметры, овальность, конусность внутренних и наружных цилиндрических поверхностей.

На рис. 21 показана схема ртутно-контактного дифференциального датчика для контроля овальности вала *1* путем измерения его диаметра в двух взаимно перпендикулярных направляющих четырьмя соплами *2*. Два канала *5* и *8* в виде трубок ртутного манометра внизу соединены расширенной частью, в которой расположена мембрана *6*. Контактные винты *3* и *4* датчика вмонтированы в корпус над каналами *5* и *8* с резиновыми уплотнительными сальниками, препятствующими утечке воздуха. Контакты настраиваются так, чтобы при предельном отклонении диаметра вала столб ртути поднялся и замкнул один из них, включив сигнальные элементы датчика. Корпус *7* датчика изготовлен из органического стекла. На корпусе нанесены вдоль каналов *5* и *8* шкалы, позволяющие наблюдать за измерением овальности вала. Широкое распространение находят пневмоэлектроконтактные датчики с сильфонами — элементами с высокой чувствительностью.

Бюро взаимозаменяемости Минстанкопрома разработало пневматический дифференциальный измерительный прибор БВ-884 (рис. 22), состоящий из трех основных узлов: блока фильтра сжатого воздуха со стабилизаторами *2*, распределителя воздуха *5* с сильфонами *10* и *19* и рычажно-зубчатого механизма со шкалой.

Воздух из сети поступает во входной манометр *1*. Затем в фильтры и стабилизаторы *2* и через выходной манометр *3* по трубке *4* — в распределитель воздуха *5*. Затем воздух через два смежных жиклера *6* по трубкам *7* и *22* попадает к выходным соплам. От жиклеров *6* воздух

по трубкам *13* и *18* попадает в сильфоны *10* и *19*. Эти сильфоны соединяются с корпусом распределителя с помощью резиновых уплотняющих колец, не пропускающих воздух. По концам планки *8* прикреплены четыре плоские пружины *9* и *21*, соединенные с концами сильфонов. Чтобы сильфоны не могли перекашиваться при растяжении, они соединены тремя стержнями, проходящими в отверстиях распределителя воздуха *5*. Перемещение сильфонов ограничивается винтами *11* и

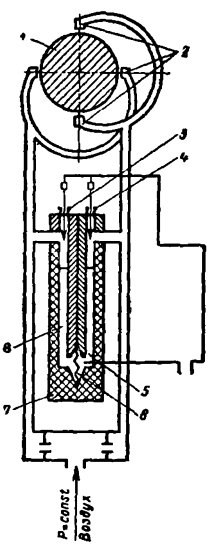


Рис. 21. Схема ртутно-мембранного дифференциального датчика для контроля овальности вала

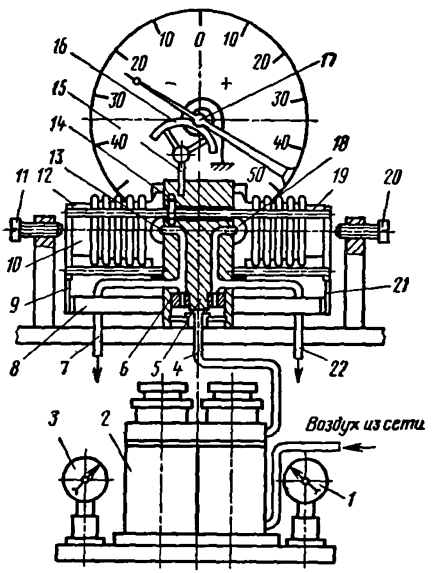


Рис. 22. Схема пневматического дифференциального датчика

20. К стержню *12* прикреплен хомутик *14*, соприкасающийся с шариком поводка *15* рычажно-зубчатого механизма. При измерении детали давление воздуха в сильфонах *10* и *19* меняется, отчего один растягивается, другой укорачивается, что вызывает перемещения всех трех стержней. Стержень *12*, перемещаясь с хомутиком *14* через поводок *15* и зубчатый сектор *16*, вращает шестеренку *17* с сидящей на ее оси стрелкой шкального прибора, показывающего величину отклонения контролируемого размера детали. Рабочий ход сильфонов 4 мм. Максимальное рабочее давление воздуха 2 кгс/см^2. Габариты прибора 230 × 212 × × 200 мм.

На рис. 23 представлена схема компенсационного пневматического датчика, принцип действия которого основан на самобалансировании чувствительного элемента мембраны *6*, разделяющей внутреннюю полость датчика на две камеры: верхнюю *2* компенсационную и нижнюю *9* — измерительную. В обе камеры сжатый воздух поступает через

входные сопла *1* и *10* под одинаковым давлением. Из нижней камеры воздух выходит через сопло *7* в измерительный зазор δ между соплом и контролируемой деталью *8*; из верхней камеры воздух выходит через кольцевой зазор между конической поверхностью компенсационной иглы *5* и гнездом *3* для нее. В зависимости от зазора δ изменяется расход воздуха, выходящего через измерительное сопло *7*, вследствие чего мембрана *6* и находящаяся в соприкосновении с ней игла *5* перемещаются до тех пор, пока расход воздуха через кольцевой зазор гнезда *3* не скомпенсирует соответствующий расход воздуха через измерительный зазор δ и не установится равенство давлений на мембрану *6* со стороны верхней и нижней камер. Величина перемещения иглы *5* пропорциональна измерительному зазору δ и может использоваться для получения командного сигнала, например, при помощи соединенного с микрометром *4* электроконтактного датчика.

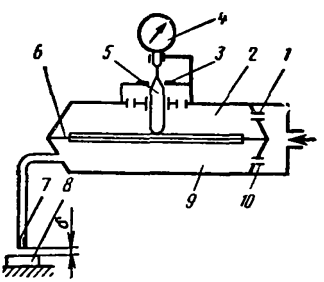


Рис. 23. Схема компенсационного пневматического датчика

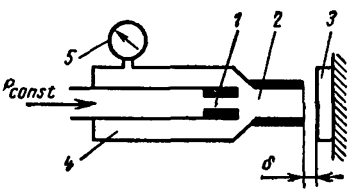


Рис. 24. Схема эжекторного сопла

Увеличение пределов измерений пневматических датчиков достигается с применением эжекторных сопл (рис. 24). Воздух из входного сопла *1* попадает в измерительное сопло *2* и далее через зазор δ — в атмосферу. Давление в измерительной камере *4* отсчитывается по манометру *5* и по этому судят о размере контролируемой детали *3*.

К основным преимуществам пневматических датчиков относятся взрыво- и пожаробезопасность; возможность работы в условиях вибрации и радиации; относительная простота конструкций; надежность в работе, легкость и компактность конструкций; отсутствие возвратных линий и безопасность утечки воздуха.

Недостатки пневматических датчиков: необходимость специального источника питания (компрессора); высокие требования к очистке воздуха от пыли, влаги и масла; значительная сжимаемость воздуха, в результате чего имеют место запаздывания в действии датчиков, особенно при значительных расстояниях (более 50 м); низкое быстродействие.

На практике достаточно широко применяют пневматические мембранные устройства УСЭППА (универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики). По характеру выполняемых функций элементы УСЭППА разделяются на датчики, преобразователи, усилители, реле, органы управления и устройства сигнализации. Основной элемент — датчик универсального типа ПIP1 трехмембранный (рис. 25). Он состоит из трех плоских мембран *5*, *6*, *7*, соединенных по оси жестким центром *9*, и двух контактов в виде пар сопло—заслонка *3—4* и *11—8*. Датчик состоит из четырех камер *А*, *Б*, *В*, *Г*, разделенных между собой

эластичными мембранами *5*, *6*, *7*. Мембраны *5* и *7*, разделяющие камеры *А* и *Б* и камеры *В* и *Г*, имеют меньшую эффективную площадь, чем мембрана *6*, разделяющая камеры *Б* и *В*. Для фиксирования датчика в исходном положении в одну из камер *Б* или *В* через штуцер *2* подается давление, называемое подпором, величину которого выбирают для камеры *Б* равной 1 кгс/см², а для *В* — 0,4 кгс/см². Корпус *10* датчика состоит из четырех частей, образующих четыре камеры. Управляющее давление $P_у$, поступающее в камеру *В* через штуцер *12*, и давление питания $P_п$, поступающее в камеру *Г* через сопло *11*, обычно равны 1,4 кгс/см². При отсутствии управляющего давления $P_у$ в камере *В* давление подпора в камере *Б* прижимает мембранный узел вверх, и сопло, связанное со штуцером *11*, оказывается закрытым от магистрали питания, а камера *А* через штуцер *13* соединяется с атмосферой. При поступлении в камеру *В* управляющего давления суммарное усилие окажется направленным вниз, и мембранный узел перейдет в нижнее положение. Линия выхода *1* окажется сообщенной с магистралью питания $P_п$ и отсоединенной от атмосферы штуцером *13*, так как сопло *3* будет закрыто заслонкой *4*. Таким образом реализуется одновходная логическая функция «Повторение — ДА», т. е. при подаче $P_у$ выдается давление $P_{вых}$. Если $P_у$ не подается, то $P_{вых} = 0$. Когда давление подпора подается в камеру *В*, а $P_у$ в камеру *Б*, то реализуется логическая функция «Отрицание — НЕ» (табл. 6).

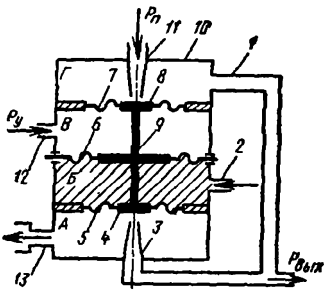


Рис. 25. Схема трехмембранного датчика УСЭППА типа ПІРІ

Для реализации двухвходной логической функции «Умножение — *И*» управляющее давление $P_{у1}$ подается к штуцеру *12*, $P_{у2}$ — к штуцеру *11*, а давление подпора — в камеру *Б*. $P_{вых}$ будет при одновременной подаче $P_{у1}$ и $P_{у2}$. Если будет подано одно из двух управляющих давлений $P_{у1}$ или $P_{у2}$, то на выходе давления не будет, т. е. $P_{вых} = 0$ (табл. 6).

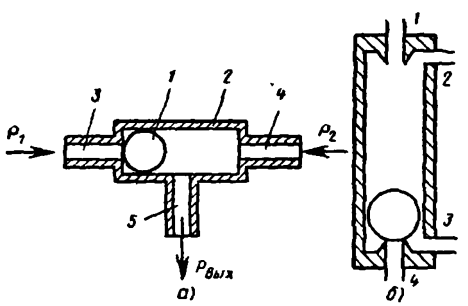
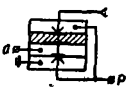
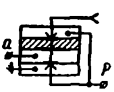
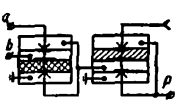
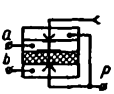
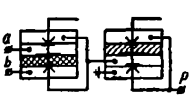
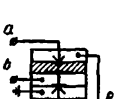


Рис. 26. Схема шариковых пневматических элементов

6. Элементы УСЭППА

Название	Схема	Название	Схема
Повторение — ДА	 $P = a$	Импликация	 $P = \bar{a} + b$ $P = a + \bar{b}$
Отрицание — НЕ	 $P = \bar{a}$	Штрих Шеффера	 $P = \bar{a} + \bar{b}$
Сложение — ИЛИ	 $P = a + b$	Стрелка Пирса	 $P = \bar{a}\bar{b}$
Умножение — И	 $P = ab$	Эквивалентность	 $P = \bar{a}\bar{b} + ab$
Запрет	 $P = a\bar{b}$	Неэквивалентность	 $P = \bar{a}b + a\bar{b}$

Большое распространение в системах дискретной пневмоавтоматики получил шариковый элемент, реализующий логическую операцию ИЛИ. Этот элемент представляет собой два шариковых клапана (рис. 26, *а*).

В корпусе *2* шарик *1* может свободно перемещаться, перекрывая канал *3* или *4*. Воздух в канале *3* управления шариком *1* перекрывает канал *4* и соединяется с выходным каналом *5*. Широкое использование этого элемента во многих пневматических системах управления вместе с трехмембранными датчиками объясняется простотой конструкции и высокой надежностью.

Кроме рассмотренного шарикового элемента ИЛИ, применяют другие шариковые элементы, позволяющие реализовать другие логические функции. Одна из наиболее распространенных конструкций шарикового пневматического реле приведена на рис. 26, *б*. При подаче давления на вход *1* шарик плотно перекрывает сопло входа *4* и выхода *3*, и входное давление поступает на выход *2*. При поступлении давления на вход *4* шарик мгновенно перебрасывается в противоположный конец, плотно прижимаясь к соплу входа *1* и выхода *2*, и входное давление поступает на выход *3*.

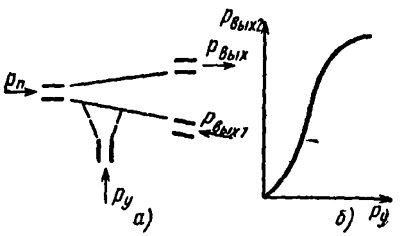


Рис. 27. Простейший струйный элемент:

а — схема; *б* — зависимость выходного давления от давления управления

У приведенных шариковых элементов обычно небольшие размеры, диаметр шарика — до 0,2 мм.

Подобно тому, как в свое время в области электроавтоматики зародилось новое техническое направление — электроника, так и в области пневмоавтоматики возникло новое направление — пневмоника, или струйная техника.

Струйная техника (пневмоника) коренным образом отличается от всех ранее известных пневматических датчиков. В элементах струйной техники полностью отсутствуют какие-либо подвижные детали, а управление осуществляется в результате взаимодействия струй воздуха. Приборы струйной техники миниатюрны, в них допустимо применение печатных схем. При построении простейших элементов используют аэродинамические эффекты взаимодействия струй и обтекания струями стенок. Низкое давление воздуха (200—500 кгс/м^2) — тоже преимущество этих элементов. Простейший струйный элемент показан на рис. 27, *а*. С увеличением управляющего давления P_y питающая струя $P_п$ все больше отклоняется от $P_{вых\,1}$, и выходное давление $P_{вых\,2}$ растет в функции от P_y по характеристике, показанной на рис. 27, *б*.

Применяют также струйные элементы с прилипанием струи к стенке (эффект Коанда). На рис. 28, *а* струя $P_п$, выходящая из сопла *1*, протекает вдоль стенки *4*, в которой имеется канал управления *2*. При отсутствии управляющего давления P_y в канале *2* струя воздуха течет вдоль стенки и попадает в канал *3*. При постепенном увеличении давления P_y первоначальное направление струи не изменяется. Затем при некотором увеличенном значении P_y струя отрывается от стенки *4* и скачком направляется в канал *5*. При уменьшении давления P_y струя

снова скачком возвращается к стенке. Часто давление $P_у$, при котором происходил отрыв струи от стенки, не совпадает с давлением $P_у$ при возвращении струи к стенке, образуя петлю, изображенную на рис 28, *б*. На рис. 28, *в* показан элемент с двумя каналами *1* и *2*. Отрыв от стенки может быть при управляющем давлении $P_{у1}$ или $P_{у2}$, а также при одновременном действии обоих давлений $P_{у1}$ и $P_{у2}$. Этот же элемент может являться струйным датчиком запоминания сигнала, если один из каналов управления, например *4* (рис. 28, *г*), является каналом обратной связи, к которому по каналу *3* подводится выходное давление $P_{вых}$ из камеры *6*. Если к каналам *1* и *4* не подводится давление, то струя обте-

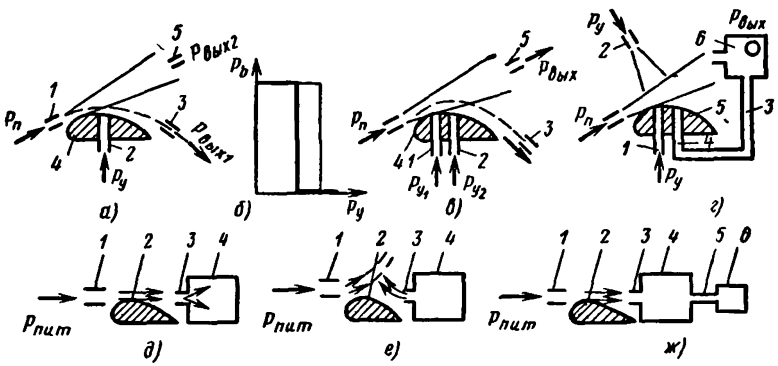


Рис. 28. Струйные элементы с прилипанием струи:

а, в—ж — схемы; *б* — зависимость выходного давления от управляющего

кает стенку *5*. При подаче давления в канал *1* струя отрывается от стенки *5* и попадает в камеру *6*, из которой по каналам *3* и *4* подводится давление $P_{вых}$, и струя поддерживается оторванной от стенки *5* после отключения давления $P_у$. Для снятия давления $P_{вых}$ из камеры *6* и из канала *4* необходимо подать давление управления в канал *2*.

На рис. 28, *д* показаны схемы работы аэродинамического датчика колебаний. Струя, обтекая стенку *2*, попадает в приемный канал *3* и постепенно повышает давление в камере *4* (рис. 28, *е*), создавая противодавление струе и отрывая ее от стенки *2*. При этом в камере *4* давление постепенно падает, после чего струя снова начинает обтекать стенку *2* и т. д. Частота колебаний зависит от объема камеры *4*, а амплитуда — от процесса, связанного с обтеканием стенки. Если к камере *4* присоединить камеру *6* через дроссель *5* (рис. 28, *ж*), то можно изменить амплитуду колебаний.

Струйные элементы применяют во многих автоматических системах управления различных машин. Струйная техника нашла применение при модернизации сверлильного автомата; пневматика была заменена пневмоникой. На схеме (рис. 29) управления сверлильного автомата показано, что при перемещении шпинделя *1* в верхнее положение кольцо *2*, закрепленное на нем, закрывает конец трубки *4*, и струя воздуха, поступающая в струйный элемент *7* благодаря управляющей струе воздуха из трубки *6*, направляется по трубке *9*, перемещая золот-

ник *11* вниз. Сжатый воздух из магистрали *10* действует на поршень *12*, опуская шпиндель *1* вниз для сверления отверстия. В нижнем положении кольцо *2* шпинделя *1* закрывает конец трубки *3*, и струя воздуха направляется в трубку *5* благодаря управляющей струе воздуха из трубки *8*. Поршень *12* перемещается вверх, и воздух из магистрали *10* поднимает шпиндель *1* в верхнее положение. Применение пневмоники позволило упростить конструкцию и увеличить производительность сверлильного автомата в 2 раза.

Параллельно со струйной и мембранной техникой начали применять струйно-мембранные элементы, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с чистомембранными устройствами — меньшие габариты, меньшее количество подвижных и упругих деталей, что повышает надежность. Недостаток этих элементов по сравнению со струйными — повышенный расход воздуха.

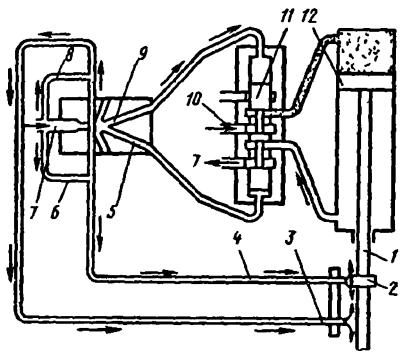


Рис. 29. Схема струйного управления сверлильного автомата

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

Промежуточные устройства преобразуют импульсы, создаваемые датчиками. В качестве промежуточных устройств широко применяют электрические реле. Они рассчитаны на слабые токи и предназначены для замыкания и размыкания контактов, по которым проходят токи значительно большей силы. Реле используют как датчики прерывистого (дискретного) управления исполнительными механизмами посредством электрических сигналов. По принципу действия они могут быть электромагнитными, поляризованными, магнитоэлектрическими и электронными, а в зависимости от числа контактов — двух-, четырехконтактными и более. Применяют также и бесконтактные реле. В зависимости от параметра срабатывания различают реле напряжения, тока, мощности и др. Применяют реле постоянного и переменного тока. В схемах автоматического управления приводами металлорежущих станков широкое распространение получили электромагнитные реле тока и напряжения, поляризованные реле, реле времени и т. д.

Электромагнитные реле тока и напряжения обычно имеют одинаковую конструкцию и различаются лишь тем, что у токовых реле катушка низкоомная, а у реле напряжения — высокоомная.

В схемах автоматического управления широко используют электромагнитные реле РПУ, РЭН, КДР, РКН, РТ-40. Конструкция реле постоянного тока РПУ приведена на рис. 30, *а*. Реле состоит из П-образной магнитной скобы *1*, цилиндрической катушки *2* с сердечником, пластинчатых контактных пружин *4* с контактами *5*, изоляционной траверсы *3* для крепления контактных пружин *4* и возвратной пружины *6*. Большое распространение в схемах управления металлоре-

жущих станков получили слаботочные реле РЭН-20, РЭС-6, РМУГ (табл. 7).

7. Эксплуатационные данные реле

Реле	Напряжение постоянного тока, В (не более)	Номинальная сила тока, А (не более)	Число срабатываний в 1 с (не более)
РЭС-6	30	0,3	10^6
		1	$0{,}3 \cdot 10^6$
		2	$1{,}5 \cdot 10^6$
		3	10^4
	115	1	$5 \cdot 10^4$
	250	0,3	$4 \cdot 10^3$
	300	0,1	$5 \cdot 10^5$
РМУГ	30	1	10^6
	115		
	300	0,1	

Поляризованное реле (рис. 30, *б*) состоит из двух магнитов — постоянного *1* и электромагнита *2*. Между якорем *5* и полюсными наконечниками *3* и *9* образуются два зазора *4* и *8*. Магнитный по-

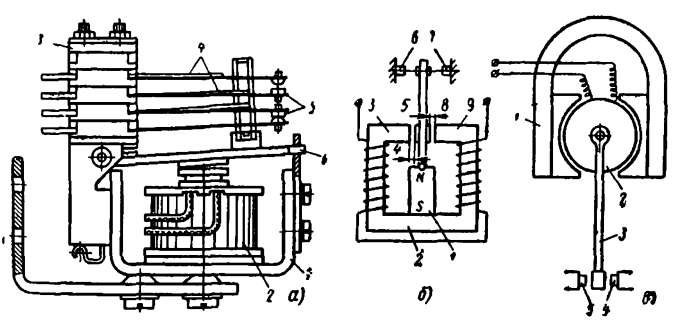


Рис. 30. Схемы электрических реле:

а — электромагнитного; *б* — поляризованного; *в* — магнитоэлектрического

ток, создаваемый постоянным магнитом *1*, разветвляется через эти зазоры на два направления, и оба полюсных наконечника *3* и *9* воздействуют на якорь *5* с одинаковой силой. Магнитное поле, создаваемое электромагнитом *2*, при подаче тока в его обмотку действует через оба зазора *4* и *8* в одном направлении — от одного полюсного наконечника к другому. Магнитное поле, создаваемое электромагнитом, накладываясь на магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом, усиливает магнитный поток в одном зазоре и ослабляет в другом. При надлежащей силе тока создается усилие, притягивающее якорь к одному полюсному

наконечнику и тем самым замыкающее подвижный контакт, который он несет, с левым *6* неподвижным контактом при одном направлении тока и с правым *7* — при другом.

Магнитоэлектрическое реле (рис. 30, *в*) состоит из подковообразного постоянного магнита *1*, между полюсами которого расположен легкий металлический каркас *2*, образующий вместе с навитой на него обмоткой рамку. Когда через обмотку рамки проходит ток, то в зависимости от его полярности рамка поворачивается либо в одну, либо в другую сторону, и якорь *3* замыкает контакт *4* или *5*. Магнитоэлектрические реле управляют небольшими мощностями (до 2 Вт) ввиду небольшого давления на контакты.

Электронные реле являются наиболее чувствительными и надежными. Применяются реле двух типов: одни состоят из электронной лампы (триод) или ионной лампы (тиратрон), другие — бесконтактные, но тоже с электронной лампой или с полупроводниковым элементом. Электронное реле работает обычно с электромагнитным реле.

Во многих автоматических устройствах используются реле времени, которые замыкают и размыкают свои контакты через определенный промежуток времени после получения от датчика командного импульса. Существует много разнообразных конструкций реле времени. В тех случаях, когда выдержка времени должна быть очень малой, используют обычно электрические способы замедления срабатывания реле. Электрическое замедление от 0,1 с производится в электромагнитных реле в результате параллельного включения конденсатора, который приводит к замедлению, пропорциональному его емкости. Замедление в несколько десятых долей секунды производят шунтированием обмотки реле. Замедление до 10 с может быть получено механическим замедлением, например маятниковыми реле времени, которые получили распространение в станкостроении. В этих реле от электромагнита втягивается якорь, поворачивающий рычаг с зубчатым сектором и сцепленным с ним зубчатым колесом. Включение контактов может произойти только после расцепления зубчатого сектора с колесом.

Пневматическое реле времени РВП-2000 позволяет легко регулировать выдержку времени в пределах 0,4—180 с. Реле состоит из электромагнита, пневматического демпфера и микропереключателя.

Разновидностью реле времени являются *моторные реле*, которые применяют для создания выдержек времени от нескольких секунд до нескольких часов. Отечественная промышленность выпускает моторные реле времени, имеющие различное исполнение контактов: РВТ-1200, Е-52, Е-58, МРВ-68 и др.

Моторные реле времени имеют высокую точность срабатывания и позволяют плавно регулировать выдержку времени в большом диапазоне, однако их применение ограничивается из-за больших габаритов, сложности конструкции и недостаточно высокой надежности. Более долговечны транзисторные реле времени.

Реле счета импульсов применяют на шлифовальных автоматах, где они через назначенное число циклов работы включают механизм автоматической правки круга; при выборочном контроле деталей, например каждой двадцатой или сотой; при счете обработанных деталей и т. д. Эти реле представляют собой комбинацию шагового искателя, промежуточного реле, переключателя и преобразователя тока. При настройке

реле переключатель устанавливают на требуемое число импульсов. В конце отсчета заданного числа импульсов замыкается цепь (шаговый искатель — переключатель — катушка промежуточного реле) и выдается соответствующий сигнал.

УСИЛИТЕЛИ

Усилители применяют для усиления импульса датчика, а в ряде случаев — и для преобразования его в требуемую форму. Применение усилителей в схемах автоматического управления приводами металлорежущих станков упрощает схемы автоматического управления, увеличивают точность работы систем регулирования скорости приводов, обеспечивает требуемую надежность. В зависимости от используемой энергии усилители бывают электрическими, механическими, гидравлическими, пневматическими и комбинированными (электромеханическими, электрогидравлическими и т. д.). Наиболее широкое применение в автоматических системах получили электрические усилители, что объясняется их относительной простотой, дешевизной, удобством преобразования и передачи энергии, высокой надежностью. Основными характеристиками, определяющими свойства электрических усилителей как устройств автоматических систем, являются коэффициенты усиления: коэффициент усиления по напряжению $K_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$, где $U_{вых}$ и $U_{вх}$ — соответственно напряжения на выходе и входе усилителя; коэффициент усиления по току $K_I = \frac{I_{вых}}{I_{вх}}$, где $I_{вых}$ и $I_{вх}$ — соответственно сила тока на выходе и входе усилителя; коэффициент усиления по мощности $K_р = \frac{P_{вых}}{P_{вх}}$, где $P_{вых}$ и $P_{вх}$ — соответственно мощность на выходе и входе усилителя.

Усилители могут быть разделены на группы по следующим признакам:

по назначению — операционные (для вычислительных машин), измерительные и т. д.;

по усилительному элементу — ламповые, полупроводниковые, магнитные, электромашинные и т. д.;

по характеру усиливаемых сигналов — гармонические импульсные;

по количеству каскадов усиления — одно- и многокаскадные;

по типу нагрузки или виду связи между каскадами — активное сопротивление, дроссель, трансформатор, колебательный контур и т. д.;

по частоте усиливаемых сигналов — усилители низкой и высокой частоты, усилители постоянного и переменного тока.

Магнитный усилитель представляет собой электромагнитное устройство, в котором с помощью сигнала постоянного тока осуществляется управление значительно большей мощностью переменного тока. На рис. 31, *а* представлен магнитный усилитель на двух сердечниках *2 и 3* с общей управляющей обмоткой *5*, намотанной на оба сердечника. Обмотка *5* присоединена к цепи постоянного тока, а обмотки *4* и *1* — к цепи переменного тока. Небольшие изменения силы постоянного тока в обмотке *5* меняют индуктивное сопротивление и силу тока в обмотках *4* и *1*. Магнитные усилители виброустойчивы, дешевы, имеют большой коэф-

фициент усиления мощности. Их применяют в системах автоматического управления станками, где не имеет большого значения их инерционность, достигающая 0,1 с. Магнитные усилители используются при пуске, торможении, регулировании скорости и других операциях.

В электронном усилителе изменение потенциала на сетке электронной лампы позволяет управлять энергией во много раз большей, чем та, которая подводится к сетке лампы. Когда требуется очень большое усиление, применяют многокаскадные усилители с несколькими электрон-

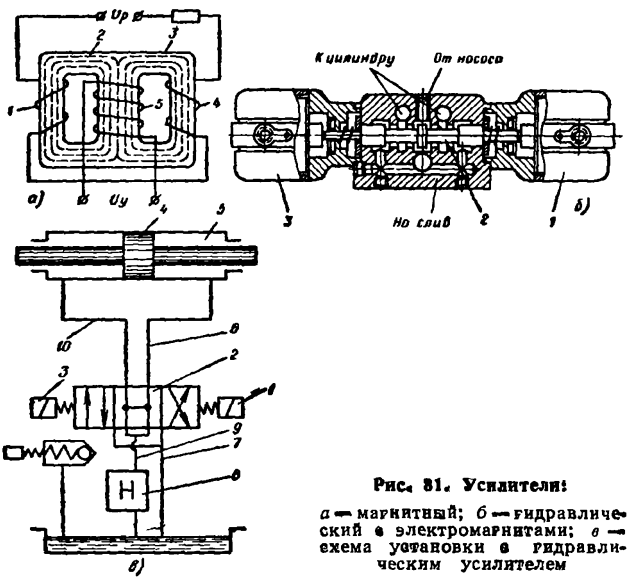


Рис. 81. Усилители:

а — магнитный; *б* — гидравлический с электромагнитами; *в* — схема установки с гидравлическим усилителем

ными лампами, каждая из которых усиливает ток предыдущей. Например, трехкаскадный усилитель с использованием триодов может дать коэффициент усиления входного напряжения до 10^5. Еще большее усиление дают усилители, построенные на пентодах. В них коэффициент усиления напряжения может доходить до 10^6—10^7.

Полупроводниковые усилители строятся на кристаллических, германиевых и кремниевых триодах, они не требуют накала, долговечны и устойчивы к окружающей среде (кроме температуры). В отличие от электронных ламп полупроводниковые усилители на триодах (транзисторах) требуют очень малого напряжения (10^{-1} В для управления напряжением 100 В в цепи нагрузки), а управляющий контур имеет относительно малое сопротивление — около 100 Ом. Высокий КПД транзисторных усилителей обусловлен малой потребляемой мощностью.

Электромашинные усилители (ЭМУ), называемые иногда амплидинами, представляют собой генераторы постоянного тока, приводимые во вращение вспомогательным двигателем (асинхронным или постоянного тока). Входное напряжение, подлежащее усилению, подводится

к обмотке возбуждения. Коэффициент усиления ЭМУ достигает 10^4. Недостатком всех ЭМУ является большая инерционность, необходимость во вспомогательном двигателе и значительная стоимость. Изготовляются ЭМУ мощностью 0,2—10 кВт.

Гидравлические усилители выполняют функцию как усиления импульса, так и управления работой силового исполнительного гидродвигателя. Все они являются усилителями мощности. Существует много разновидностей гидравлических усилителей. Большинство из них является дроссельными, в которых при перемещении тех или иных частей усилителя происходит изменение скорости потока рабочей жидкости как по величине, так и по направлению в результате изменения гидравлического сопротивления.

Гидравлические усилители подразделяются по конструкции дросселя (с золотником, соплом—заслонкой, струйной трубкой), по числу и типу дросселей и т. д. Управление гидравлическими золотниками часто выполняется с помощью электромагнитов *1* и *3* (рис. 31, *б*, *в*). Управляющий электромагнит *1* передвигает золотник *2* из среднего положения в крайнее левое положение, и масло по трубе *10* подается в левую полость рабочего цилиндра *5*, заставляя его поршень *4* переместиться вправо. Масло, нагнетаемое насосом *8* из бака, по трубопроводу *9* подается в золотник *2*. При среднем положении золотника, когда оба электромагнита выключены, масло свободно сливается обратно в бак через трубопроводы *6* и *7*.

Пневматические усилители используют в системах управления в станках и машинах, имеющих пневматический привод. Во многих случаях, когда машина работает во взрывоопасной среде, пневматический привод наиболее безопасен. При этом требуется, чтобы вся система управления была создана из пневматических элементов. Пневматические усилители изготовляют с золотниками, мембранами, струйными элементами и т. д.

Находят применение **механические усилители**. Их используют с рычажными, клиновыми, эксцентриковыми, винтовыми и другими механизмами. Коэффициенты усиления в этих случаях редко бывают более трех из-за значительного увеличения габаритов.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Вспомогательные устройства в системах управления автоматическими механизмами, и в частности автоматическими линиями станков, — это устройства в системах сигнализации и наладочного управления.

Наиболее специфичный вид сигнализации на автоматических линиях станков — с использованием устройств — стендов, учитывающих отработанное каждым из режущих инструментов линии число циклов.

Стенд включает предупредительный сигнал, когда ресурс стойкости контролируемого инструмента исчерпан в установленном размере, например на 90%, и отключает линию станков, если любой из контролируемых инструментов отработал с известным превышением установленное число циклов, например 105%. Применением таких стендов достигается смена инструментов по графику, а также сохранение должного запаса режущих инструментов.

К вспомогательным устройствам систем управления относятся также тумблеры, кнопки, переключатели, устанавливаемые на панелях

наладочного управления автоматическими агрегатами линии и на пульте управления линией в целом. Эти устройства позволяют немедленно остановить все агрегаты линии и каждый в отдельности, перевести линию на режим, при котором исполнение каждой очередной команды каждый раз должно разрешаться наладчиком и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Активный контроль в машиностроении. Под ред. Е. И. Педь. М. «Машиностроение», 1971. 360 с
2. Барун В. А., Будинский А. А. Автоматическое управление металлорежущих станков. М., «Машиностроение», 1964 344 с.
3. Волосов С. С., Марков Б. Н., Педь Е. И. Основы автоматизации измерений М., Изд-во стандартов, 1974. 368 с
4. Дмитриев В. Н., Градецкий В. Г. Основы пневмоавтоматики. М., «Машиностроение», 1973. 360 с
5 Ибрагимов И. А., Фарзане Н. Г., Илясов Л. В. Элементы и системы пневмоавтоматики. М., «Высшая школа», 1975. 360 с
6 Комаров А. Ф. Наладка и эксплуатация электрооборудования металлорежущих станков М., «Машиностроение», 1974. 384 с.
7. Малов А. Н., Иванов Ю. В. Основы автоматики и автоматизация производственных процессов М., «Машиностроение», 1974. 368 с.
8 Рабинович А. Н. Приборы и системы автоматического контроля размеров деталей машин. Киев, «Техника», 1970. 395 с.
9. Рабинович А. Н. Системы управления автоматических машин Киев, «Техника», 1973 437 с
10 Технологическое обеспечение качества продукции в машиностроении (активный контроль). Под ред. Г. Д. Бурдуна и С. С. Волосова. М., «Машиностроение», 1975. 279 с.

Глава 6

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Системы управления (СУ) автоматически и полуавтоматически работающих машин технологического назначения (заготовительных, металлорежущих, сборочных, контрольно-измерительных и др.) представляют собой комплекс механизмов и устройств, предназначенный для сообщения рабочим органам (РО) определенных действий, необходимых для выполнения заданного технологического процесса без участия человека.

В общем виде любая СУ включает в себя задающее устройство (ЗУ), воспринимающее устройство (ВУ), преобразующе-передающее устройство (ППУ), силовой привод (СПр), устройство сравнения (УСр) и устройство обратной связи (УОС). Два последних устройства могут отсутствовать.

Под ЗУ понимают управляющую программу и устройство, осуществляющее ее ввод в зону действия воспринимающего устройства.

Управляющая программа содержит всю необходимую информацию для работы данной машины: команды по управлению циклом всей машины, характером движения (закон движения) отдельных рабочих органов, режимами работы и т. д. Задающая информация, зафиксированная тем или иным способом, является управляющей программой, а материальный носитель, на котором она зафиксирована, — программоносителем.

Управляющая программа может быть зафиксирована с помощью упоров, копиров и других механических аналогов; на различных коммутаторах (штекерных матрицах, панелях с декадными переключателями и т. д.) и на быстросменных носителях (перфолентах, перфокартах, магнитных лентах, барабанах и дисках).

Воспринимающие устройства служат для восприятия (считывания) задающей информации. От формы представления этой информации во многом зависит тип ВУ и принцип их действия. Так, при числовой форме применяют считывающие устройства контактного (с подпружиненными штифтами) и бесконтактного типа (например, фотоэлектрические).

В ППУ считанная информация превращается в вид, удобный для управления силовым приводом. В наиболее сложных системах таких преобразований может быть несколько, и на одной из ступеней в качестве преобразователя могут быть использованы устройства вычислительной техники [например, в системах числового программного управления (ЧПУ)]. Наоборот, в простых системах, имеющих только механические связи, где информация задана в виде физического аналога закона движения, такие преобразования практически отсутствуют или сводятся в основном к простому изменению направления движения (например, в СУ от распределительного вала с кулачками).

В СПр сигнал управления усиливается по мощности и преобразуется в движение РО.

Информация о фактическом движении РО (скорости, положении РО), а в некоторых системах и о состоянии внешней среды представляется устройствами обратной связи. Последние не только собирают эту информацию, но и преобразуют ее в соответствующую форму для сравнения с задающей информацией. Для сравнения этих видов информации применяют устройство сравнения. Тип УСр и форма информации, поступающей на него, определяется типом СУ.

Системы управления должны обеспечивать работу оборудования (или отдельных РО) с определенной точностью и производительностью.

Точность работы СУ оценивается по наибольшему вероятностному отклонению фактически полученного параметра (положения РО, траектории его движения) от заданного, которое зависит от статических и динамических характеристик системы.

Требования по производительности СУ сводятся к обеспечению ими заданных скоростных и силовых характеристик, а также мобильности, надежности, универсальности, полноты автоматизации и оптимизации управления и др.

Скоростная характеристика определяется максимальной и рабочей скоростями, диапазоном или рядом скоростей, а также тем, с какой точностью они поддерживаются при изменении нагрузки.

Силовая характеристика определяется усилием, крутящим моментом или мощностью на заданной скорости или в заданном диапазоне.

Мобильность СУ определяется быстротой переналадки системы на работу по новой программе (по новым условиям). Мобильность зависит от трудоемкости задания (расчета) программы, ее изготовления и установки. Чем выше трудоемкость, тем ниже мобильность системы.

Требования по надежности сводятся к обеспечению безотказной работы системы в заданных условиях эксплуатации в течение определенного времени с сохранением при этом ее первоначальных технических показателей.

Универсальность СУ определяется тем, для какого круга разнообразных задач по управлению применима данная система: чем больше задач она позволяет решить, тем выше ее универсальность

Под полнотой автоматизации и оптимизации управления работой оборудования понимают комплекс действий, выполняемых без участия человека по управлению приводами (пуск, реверс, последовательность и длительность включения), позиционированию РО в одну или несколько точек (или установка параметра рабочей среды: температуры, давления и т. д.); последовательному позиционированию РО во множество точек; управлению скоростью движения РО (или изменением параметра среды) по определенному закону; изменению режимов работы, по смене инструмента; контролю фактического состояния РО (положения, скорости движения и т. д.) или отдельных механизмов СУ; индикации контролируемых параметров (на цифровом табло, дисплее, печатающем устройстве); возможностью их коррекции; сбору и учету дополнительный информации об условиях, в которых выполняется технологический процесс; возможностью автоматизации расчета, изготовления и смены программы управления; возможностью управления от ЭВМ (автоматический расчет, выдача и замена задающей информации, диагностика работы оборудования и т. д.).

Классификация СУ. В основу классификации (рис. 1) положен информационный признак — вид информации по координате (задающей и с устройства обратной связи) и количество одновременно управляемых координат.

По виду задающей информации системы управления делятся на СУ с нечисловым (путевые, временные, кулачковые и копировальные), с частично числовым (цикловые программные) и числовым (ЧПУ) программным управлением, а также комбинированные.

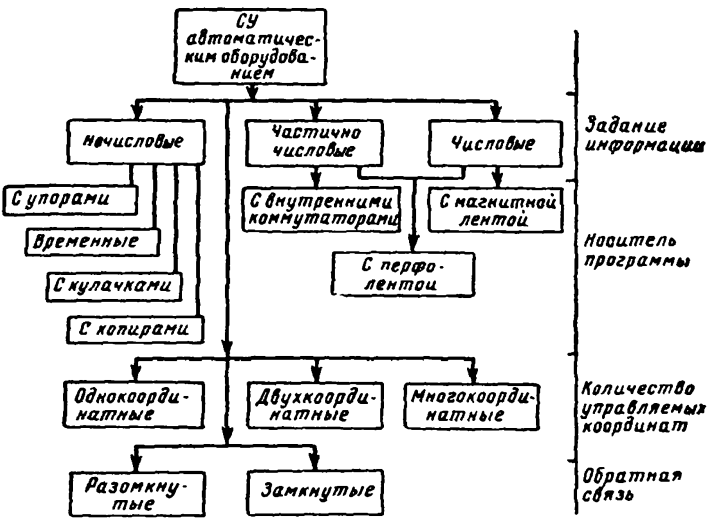


Рис. 1. Классификация систем управления автоматическими станками

Задающая информация в системах с нечисловым управлением представлена в виде физического аналога, в системах ЧПУ — в виде комбинации чисел, а в цикловых — частично аналогом, частично в виде чисел.

Путевые и временные СУ самые простые из всех перечисленных, но вместе с тем обеспечивают наименьшую автоматизацию управления. В них нет управления скоростью движения, поэтому информация об изменении скорости отсутствует, информация о пути задается соответственно положением упоров или настройкой реле времени, а информация о цикле — непереналаживаемой релейной схемой автоматики.

Временные СУ как самостоятельные применяют сравнительно редко.

В кулачковых и копировальных СУ задающая информация (о пути, скорости и цикле) задается соответственно кулачками распределительного механизма и копирами или шаблонами, причем цикловые команды в копировальных СУ (если в них имеется управление циклом) выдают непереналаживаемые схемы релейной автоматики.

Кулачковые и копировальные системы сложнее, чем путевые и временные. В них информация претерпевает более сложные преобразо-

вания, особенно в копировальных СУ с немеханическими связями между отдельными устройствами системы. Они позволяют реализовать более сложные законы движения и поэтому имеют бо́льшие технологические возможности.

В целом переналадка СУ с нечисловым управлением заключается в изготовлении и точной установке различных упоров, реле, кулачков, копиров, настройке кинематической цепи привода распределительного вала и других механизмов и требует высококвалифицированного ручного труда.

В системах циклового программного управления команды цикла задаются в виде чисел, а команды пути — упорами. Можно считать, что эти СУ с частично числовым программным управлением. Часть системы в них, управляющая циклом, выполнена в виде набора релейных схем, последовательность включения которых в процессе работы станка осуществляется автоматически, а наладка — вручную. Наладка цикловых команд при использовании коммутаторов сводится к установке штекеров в определенные гнезда матрицы или к установке переключателей, кнопок в требуемые положения, а при использовании быстросменных программоносителей — к установке последних в считывающее устройство.

Эти системы имеют несколько бо́льшие возможности управления циклом, чем системы нечислового управления.

В системах ЧПУ информация о движении, цикловых и технологических командах выражена в числовом виде и записана на быстросменном носителе (например, на перфоленте). Такая форма выражения задающей информации позволяет автоматизировать расчет и изготовление управляющей программы с помощью ЭВМ.

Системы ЧПУ — наиболее сложные из рассмотренных. В них преобразование информации имеет еще более сложный вид, но вместе с этим они обеспечивают наибольшую полноту автоматизации и оптимизации управления. Выполнение технологического процесса здесь возможно на расчетных, а иногда и оптимальных режимах. Система ЧПУ позволяет автоматически контролировать параметры процесса с помощью средств как обычного, так и активного контроля, осуществляет индикацию параметров на цифровом табло, дисплее и других устройствах, обеспечивает возможность коррекции, автоматической смены инструмента, управления от ЭВМ и т. д.

В комбинированных СУ могут использоваться различные виды управления: путевое и временное, от копиров и цикловое программное, различные виды числового программного управления.

По признаку «обратная связь» СУ делятся на разомкнутые (без обратной связи) и замкнутые (с обратной связью или обратными связями).

В разомкнутых СУ, где используется только один поток информации (задающая), значения величин, определяющих фактическое состояние управляемого объекта, не контролируются. Для качественного управления такие системы требуют более точного изготовления их элементов и более тщательного соблюдения всех условий, в которых выполняется данный технологический процесс (постоянство нагрузки, температуры и т. д.), что вызывает определенные трудности и снижает их технологические возможности.

В наиболее распространенных замкнутых СУ, кроме потока задающей информации, используется один или несколько потоков информа-

ции обратной связи, характеризующих фактические значения контролируемых величин. Здесь управление ведется с учетом результатов сравнения требуемого и фактического значений параметров состояния объекта управления, что повышает качество управления и увеличивает технологические возможности СУ.

По количеству координат, по которым осуществляется одновременное управление движением РО, СУ делят на системы с одно-, двух- и многокоординатным управлением. С увеличением количества управляемых координат возможности СУ расширяются.

СИСТЕМЫ ПУТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

В системах путевого управления (рис. 2) автоматизируется движение РО с постоянной скоростью на определенную длину (или угол поворота), задаваемую соответствующим положением упоров.

Цикловые команды осуществляются с помощью непереналаживаемых электрических (или других) релейных схем.

Упоры в этих СУ могут быть жесткими, переключающими и сигнальными ограничителями движения.

В путевых системах с жесткими упорами-ограничителями для исключения поломок в цепи привода устанавливают звенья, реагирующие на превышение усилия, крутящего момента или давления. Так, в СУ с электромеханическим приводом роль такого звена выполняет фрикционная или кулачковая муфта, которая при достижении РО упора разрывает цепь привода.

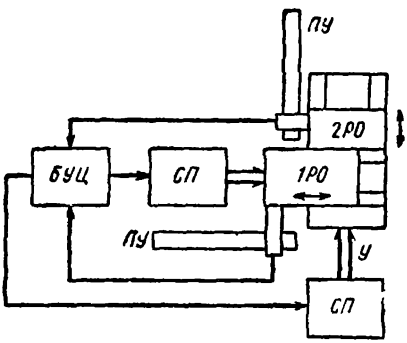


Рис. 2. Блок-схема путевой системы управления:

ПУ — планка с упорами; *БУЦ* — блок управления циклом; *СП* — силовой привод; *1РО, 2РО* — рабочие органы станка передачи

В СУ с упорами-переключателями последние воздействуют на контактные или бесконтактные электрические (конечные выключатели, микровыключатели), гидравлические и пневматические (золотники, клапаны и т. д.), а также электромагнитные и электронные безконтактные переключатели.

Сигнальные упоры в основном применяют в системах контроля, индикации или диагностики, где от них зажигаются лампочки, световые табло, включаются звуковые устройства.

Среди групповых устройств находят применение блоки контактных электрических переключателей типа СГП-1 и блоки точных бесконтактных переключателей ПБП-1.

На токарных станках с управлением по упорам точность обработанных деталей следующая: с принудительным дожатием суппорта до жесткого упора точность радиальных размеров 0,02—0,04 мм, осевых 0,05—0,2 мм; по переключающим упорам 0,05—0,1 мм.

Программирование обработки на станках с путевыми СУ сводится к составлению схемы расположения упоров, по которой затем производится наладка — их размерная установка на панели или непосредственно на станке. Цикловые команды здесь не задаются.

Путевые системы управления конструктивно просты, удобны в эксплуатации, имеют невысокую стоимость, но обладают низкой универсальностью и мобильностью. Область их рационального применения — специальное оборудование для крупносерийного и массового производства

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТ КУЛАЧКОВ

Основу систем управления от кулачков составляют кулачковые механизмы с кулачками: цилиндрическими, торцовыми, плоскими, дисковыми открытого или закрытого типа.

В системах управления с распределительным валом (СУРВ) применяют нерегулируемый привод, поэтому РВ имеет постоянную частоту вращения (одну или две).

В зависимости от того, на какой частоте вращения выполняются движения вспомогательных РО, конструктивно СУРВ бывают следующих видов: 1) у РВ одна частота вращения, настраиваемая по скорости движения основных РО (рис. 3, *а*); 2) РВ может вращаться с двумя частотами (рис. 3, *б*), (для выполнения рабочих и вспомогательных перемещений РО); 3) кроме РВ, есть вспомогательный вал, на который вынесены кулачки для выполнения вспомогательных движений РО (рис. 3, *в*); 4) командоаппараты (рис. 3, *г*)

Системы 1-го вида конструктивно наиболее просты. Они наиболее целесообразны при коротких циклах. Эти системы применяют при автоматизации неметаллообрабатывающих машин, где скорости движения основных и вспомогательных РО соизмеримы (в электронно-вакуумных машинах и некоторых сборочных станках, а также в металлорежущих токарных автоматах мод. 1106, 1110, 110 и др.).

Системы 2-го вида позволяют более полно использовать возможности технологических процессов, в которых продолжительность рабочих и холостых движений значительно отличается. Этими системами оснащено большинство одно- и многошпиндельных металлорежущих автоматов, например мод. 1П12, 1П16, 123, 1225 и др.

Возможности систем 3-го вида те же, что и у систем 2-го вида, но у них более высокая надежность и более сложная конструкция. Эти системы нашли применение главным образом в токарно-револьверных автоматах 1Д112, 1Д118, 1Б124, 1Б136 и др.

Командоаппараты (см. рис. 3, *г*). В командоаппаратах для передачи закона движения вместо жестких рычажных и реечных передач применяют полужесткие механические (шариковые, тросовые или ленточные), гидравлические передачи или электрические связи, а кулачки объединены в блоки наладки.

В командоаппаратах, как и в системах управления от РВ, при программировании остается такая трудоемкая операция, как изготовление кулачков (упоров)

Программирование обработки на станках с кулачковыми СУ заключается в проектировании всего цикла работы автомата и кулачков.

Проектирование цикла (задание цикловых команд) применительно к металлообрабатывающим автоматам и полуавтоматам включает составление схемы обработки (заполнение карты наладки и построение циклограммы).

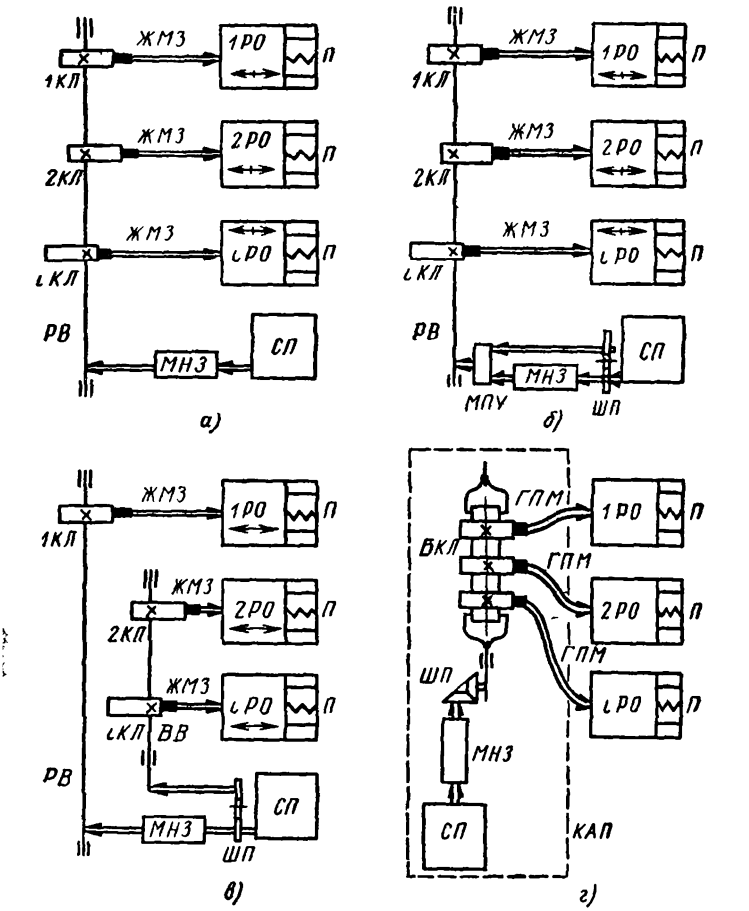


Рис. 3. Функциональные схемы систем управления от кулачков:

а — с одной частотой вращения РВ; *б* — с двумя частотами вращения РВ; *в* — с двумя РВ, *г* — с командоаппаратами, *1КЛ—iКЛ* — кулачки, *РВ* — распределительный вал, *1РО—iРО* — рабочие органы станка, *ЖМЗ* — жесткое механическое звено, *П* — пружина; *СП* — силовой привод; *МНЗ* — механическое настроечное звено, *ВВ* — вспомогательный вал, *МПУ* — механическое переключающее устройство; *БКЛ* — блок кулачков, *ШП* — шестеренчатая передача; *КАП* — командоаппарат; *ГПМ* — гибкие передаточные звенья

Расчетную длину рабочего хода рассчитывают по формуле $l_р = l_{обр} + \Delta$, где $l_{обр}$ — величина хода, потребная для собственно обработки; Δ — гарантированный зазор. Величину $l_р$ выбирают минимально возможной. Величина подъема профиля кулачка $h_к = l_р i_{рыч}$, где $i_{рыч}$ — передаточное отношение рычагов привода данного РО.

Расчетную частоту вращения шпинделя автоматов, а также полуавтоматов, где РВ вращается с постоянной частотой вращения, определяют по формуле $n_р = \frac{l_р}{s}$, где s — подача на оборот шпинделя. Затем определяют углы поворота РВ для вспомогательных и рабочих ходов, и эти величины заносят в карту наладки [1].

На основании данных карты наладки расписывают весь цикл обработки от 0 до 360° (или от 0 до 100 частей оборота) с указанием, на каком угле поворота РВ начинается и заканчивается каждый переход. На основании этих данных строят циклограмму. Циклограммы строят в прямоугольных или полярных координатах.

В циклограммах, выполненных в прямоугольных координатах, в левую вертикальную графу записывают название механизмов, участвующих в цикле работы автомата. Весь цикл разбивают на 360° или 100 частей. Справа против каждого механизма заштриховывают участок, соответствующий длительности работы каждого механизма, незаштрихованными остаются участки подвода и отвода.

Проектирование кулачков (задание законов движения отдельным РО) выполняют на основе данных карты наладки и паспортных данных автомата.

Материал заготовки для кулачков, работающих в условиях небольших усилий, — обычно серый чугун (СЧ 24-44, СЧ 28-48), а при больших усилиях — сталь 15, 20, 20Х. Допуск на изготовление для основных кулачков 1-го класса точности ±0,005, 2-го ±0,007, 3-го ±0,01 мм; параметр шероховатости поверхности по профилю и посадочного отверстия $Rz = 1{,}25$, а остальных поверхностей $Rz = 2{,}5$ мкм.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТ КОПИРОВ

Эти системы (КСУ) применяют для обработки плоских и объемных деталей со сложным контуром (с одновременным управлением по одной, двум или трем координатам).

Закон движения РО в них несет профиль копира, шаблона или контур чертежа; цикловые команды заложены в блоке управления циклом (БУЦ).

Различают КСУ прямого и непрямого действия.

В системах прямого действия (механические КСУ) копир непосредственно (через жесткое механическое звено) воздействует на РО (рис. 4, *а*). В этих КСУ отсутствуют преобразующие и усилительные устройства, поэтому копир в них выполняет одновременно управляющую и силовую функции. Несмотря на чрезвычайную конструктивную простоту, они получили весьма ограниченное применение. Из-за отсутствия промежуточных усилительных устройств в них копир воспринимает всю рабочую нагрузку, теряя быстро свои точностные характеристики, к тому же система имеет низкую чувствительность, что резко ограничивает ее технологические возможности, в частности ограничивает воспроизведение сложных законов движения.

Системы непрямого копирования имеют более широкое применение. В них копир взаимодействует с чувствительным элементом системы — адаптером *А* (его называют также копировальным прибором, щупом, индикатором, трейслером), выполняющим одновременно функцию измерителя рассогласования и преобразователя. Сигнал с выхода *А*, пропорциональный изменению профиля копира, используется дальше в качестве управляющего для силового привода. Привод усиливает этот сигнал по мощности и преобразует его в движение, перемещая *РО* на расстояние, пропорциональное сигналу, и со скоростью, пропорциональной скорости изменения сигнала. При этом *РО* смещает на такую же величину корпус *А* посредством жесткой механической обратной связи

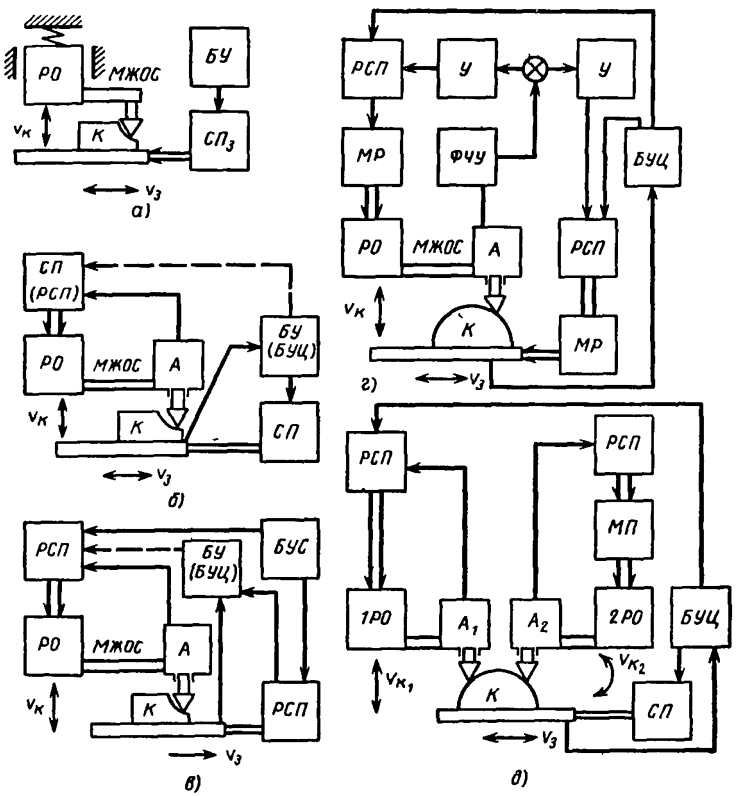


Рис. 4. Функциональные схемы СУ с копирами:

а — прямого копирования, *б* — непрямого копирования с неизменяемой задающей подачей, *в* — непрямого копирования со ступенчато изменяемой задающей подачей, *г* — непрямого копирования с двухкоординатным управлением, *д* — непрямого копирования с комбинированным управлением

МЖОС, уменьшая или ликвидируя возникшее (из-за изменения профиля копира) рассогласование между копировальным пальцем и корпусом *А*. Если в последующий момент не появится нового рассогласования, то наступит состояние равновесия, и *РО* остановится. При появлении на новом участке копира нового рассогласования система отработает его. Этот принцип отслеживания смещения пальца адаптера, лежащий в основе всех копировальных систем непрямого действия, с меньшей точностью выполняется в релейных СУ и с большей точностью в непрерывных (пропорциональных) копировальных СУ.

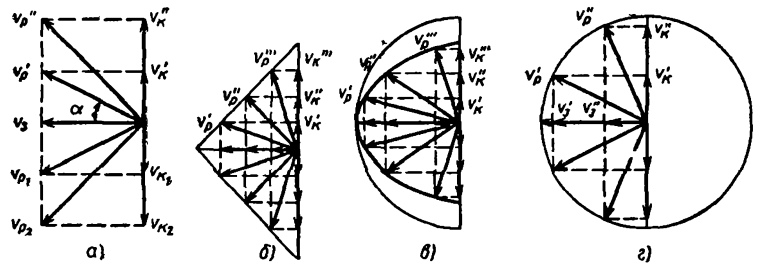


Рис. 5. Законы согласования подач в системах управления с копирами: *а* — с неизменяемой задающей подачей; *б* — со ступенчато изменяемой задающей подачей; *в* — с согласованием по «закону эллипса»; *г* — с согласованием по синусно-косинусному закону

По количеству управляемых координат все КСУ можно условно разделить на системы: с однокоординатным управлением и неизменяемой задающей скоростью (подачей) $v_з$ (рис. 4, *б*); с однокоординатным управлением и ступенчато изменяемой $v_з$ (рис. 4, *в*); с двухкоординатным (рис. 4, *г*) и комбинированным (рис. 4, *д*) управлением. Все эти системы имеют разные технологические возможности, универсальность и область использования.

В КСУ с однокоординатным управлением и неизменяемой $v_з$ закон изменения результирующей скорости $v_р$ и копировальной скорости $v_к$ показан на рис. 5, *а*, где $v_р = v_з\sqrt{1 + \operatorname{tg}\alpha}$.

Эти КСУ применяют в основном при токарной обработке деталей по копиру с незамкнутым контуром и углом подъема профиля $\alpha \leqslant 45°$, так как уже при $\alpha = 45°$ $v_р = 1{,}41 v_з$, что недопустимо из-за условий резания. В связи с этим приходится устанавливать копировальное устройство под некоторым углом β к оси центров станка или снижать значение $v_з$, выбранной ранее по технологическому процессу. Первое мероприятие вызывает появление на копире так называемых теневых участков, недоступных для адаптера, второе — снижение производительности.

КСУ могут иметь изменяемую $v_з$ в зависимости от изменения угла наклона профиля копира α.

В результате использования различных по сложности средств для функционального управления копировальной и задающей скоростями подачи можно реализовать различные законы изменения $v_з$: ступенчатый (рис. 5, *б*); непрерывный, когда конец вектора $v_р$ описывает часть эллипса или дугу окружности (рис. 5, *в*, *г*).

Ступенчатое изменение $v_з$ может быть получено с использованием простых средств: асинхронного трехскоростного двигателя (с несколькими угловыми скоростями) и простейшего переключающего устройства. Такое управление позволяет воспроизводить профиль копира (с разомкнутым контуром) с углом наклона до 75—80°.

В КСУ с *непрерывным изменением* $v_з$ с помощью блока функционального распределения БУС (вектор $v_р$ описывает дугу окружности) обеспечивается постоянство результирующей скорости и возможно воспроизведение *разомкнутых профилей* с углами подъема до 90°. КСУ этих трех групп в основном применяют для токарных и частично для фрезерных работ. Для обработки плоских поверхностей с замкнутым *контуром, при обводе которых* требуется изменять направление перемещения инструмента в пределах 360°, применяют двухкоординатные КСУ (вектор $v_р$ описывает окружность, рис. 5, *г*). Двухкоординатные КСУ (см. рис. 4, *г*) представляют собой не просто набор двух однокоординатных КСУ. Они значительно сложнее однокоординатных, так как в них от одного адаптера осуществляется одновременно и взаимосогласованно *движение по* двум координатам, но фактически они позволяют воспроизвести траекторию любого профиля. Для обработки объемных деталей, в общем случае имеющих криволинейный контур, требуется КСУ с *трехкоординатным* управлением. Часто применяют вместо них комбинированные КСУ (см. рис. 4, *д*) (сочетание двухкоординатной КСУ с координатой задающего независимого движения), т. е. объемную обработку *заменяют «построчной»*.

С точки зрения используемой силовой энергии КСУ делят на гидравлические, электрические, электрогидравлические и пневмогидравлические.

Гидравлические КСУ обладают сравнительно большим быстродействием, большим диапазоном регулирования, хорошей плавностью хода, *обеспечивают* в большинстве случаев более простое конструктивное решение (КСУ с цилиндром не имеют редуктора и передачи винт—гайка) и отсутствие зазоров в передаточных звеньях. Они получили широкое применение в различных машинах, в том числе в металлорежущих: токарных, фрезерных, шлифовальных, зубообрабатывающих и других станках.

В качестве исполнительных двигателей в гидравлических КСУ применяют гидроцилиндры или гидромоторы.

В гидравлических КСУ применяют адаптер золотниковый, реже струйный и в виде сопла с заслонкой, или комбинированный. Преобразователи золотникового типа могут быть с одно-, двух- или четырехщелевым плунжерным золотником; они имеют различную конструктивную *сложность и разные характеристики*.

В гидравлических КСУ с однокаскадными адаптерами усилие, возникающее в зоне контакта копир—адаптер, равно 1—3 кгс; с многокаскадными *адаптерами* — 100—150 гс. Однако последние КСУ применяют ограниченно из-за большой сложности, а также из-за того, что используемые для копиров материалы (сталь, бакелит, пескомасса) *допускают значительные* контактные силы со стороны щупа адаптера.

Системы с четырехщелевыми золотниками применяют в станках со *значительными нагрузками* и скоростями копирования с соблюдением высокой точности воспроизведения (например, во фрезерных, строгальных, тяжелых токарных станках и др.).

Копировальные СУ с двух- и однощелевыми золотниками применяют при высоких скоростях копирования и небольших нагрузках, например в токарных станках.

Конструктивно гидрокопировальные суппорты выполнены на базе цилиндра поступательного движения, управляемого от золотникового адаптера.

Гидравлическими КСУ (рис. 4, *б*) оснащены отечественные многорезцовые копировальные полуавтоматы мод. 1708, 1713, а системами группы, показанной на рис. 4, *в*, — копировальные полуавтоматы 1712, 1722.

Чистовая обработка на копировальных полуавтоматах по копиру выполняется с точностью 0,02—0,06 мм при подачах 0,5 мм/об; она зависит от точности КСУ, точности профиля копира и правильности его установки.

Параметры шероховатости обработанных поверхностей $Rz = 2{,}5 \div 1{,}25$ мкм.

Гидравлические КСУ (рис. 4, *в*) нашли применение в копировально-фрезерных станках, например 6М42К, где обработка при чистовом фрезеровании и подаче в 450 мм/мин выполняется с точностью $\pm 0{,}05$ мм.

Комбинированные гидравлические КСУ (рис. 4, *д*) нашли применение в тяжелых копировально-фрезерных станках, например ПКФ-8, КФА-1, ТКБ-1 и др.

Электрические КСУ по типу применяемого адаптера делятся на релейные (с адаптерами электроконтакторного типа) и непрерывные (с индуктивными, электроразрядными, фотоэлектрическими и другими адаптерами).

В релейных копировальных СУ, работающих по принципу «включено — выключено», в качестве адаптеров применяют электрический трехпозиционный контакторный преобразователь.

Релейные КСУ в течение ряда лет были одними из основных устройств электрокопировальных станков, но в связи с возросшими требованиями к скорости копирования и точности они уступают место КСУ с непрерывным управлением.

Релейные КСУ применены в токарно-копировальном станке 1С63, в копировально-фрезерном станке 6М13К, где соответственно точность обработки $\pm 0{,}1$ мм при $v_к = 50$ мм/мин и $\pm 0{,}02$ при $v_к = 200$ мм/мин.

В непрерывных электрических КСУ часто применяют индуктивный адаптер и регулируемый привод постоянного тока (с двигателем постоянного тока, управляемым от ЭМУ или тиристорного преобразователя).

Приводы с тиристорным преобразователем благодаря высокой надежности находят все большее применение. Они достаточно универсальны и используются также в системах ЧПУ. Двухкоординатные электрические КСУ с индуктивным адаптером и двигателем постоянного тока, управляемым от ЭМУ, нашли применение в серии копировально-фрезерных станков 6441Б, ЛР-63, ЛР-93, ЛР-93А, ЛР-163, ЛР-164В и др.

Точность обработки на этих станках (кроме ЛР-164В) $\pm 0{,}1$ мм при скорости до 750 мм/мин; на станке ЛР-164В — 0,15—0,5 мм при скорости 475 мм/мин.

В электрических КСУ с электроразрядными и фотоэлектрическими адаптерами механический контакт между копиром и щупом адаптера полностью отсутствует, что позволяет в первом случае использовать

копиры из мягких, легкообрабатываемых материалов с тонким токопроводящим покрытием, а во втором — контур чертежа.

В КСУ с электроразрядным адаптером «считывание» профиля копира осуществляется благодаря изменению параметров электрической дуги, возникающей между копиром и адаптером, благодаря высокому напряжению (1000—2000 В), подведенному к щупу. Прибор настроен так, что зазор между копиром и пальцем составляет 0,1—0,2 мм. Всякое отклонение от величины этого зазора (вследствие изменения профиля копира) вызывает изменение параметров электрической дуги (ток, напряжение); этот сигнал измеряется, усиливается в электронном усилителе и затем используется в качестве аналогового сигнала для управления силовым приводом. Электроразрядный адаптер имеет сравнительно малые размеры, что позволяет использовать такие КСУ в малых копировально-фрезерных станках. Однако для точного копирования их не применяют, так как электроразрядный адаптер не позволяет реализовать синусно-косинусный режим распределения скоростей ($v_з$ и $v_к$), а также из-за неудобства применения высокого напряжения в технологическом оборудовании.

В системах с фотоэлектрическими адаптерами программа задается в форме чертежа детали. КСУ с фотоэлектрическими адаптерами по способу измерения угла направления движения (угла изменения контура чертежа) в процессе копирования делятся на КСУ с амплитудной, амплитудно-импульсной и фазо-импульсной модуляцией. Последние являются более помехоустойчивыми. Эти системы в основном построены по схеме рис. 4, *г*, *д*.

Системы с фотоэлектрическими адаптерами получили распространение главным образом при автоматизации заготовительного оборудования: в установках для кислородной, плазменной резки металла, в установках для наплавки металла, а также в некоторых металлорежущих и электроэрозионных станках.

Точность копирования с применением этих КСУ зависит от параметров системы и от точности выполнения контура чертежа, толщины линий, степени их однородности, плоскостности чертежа и т. д.

Так, например, на копировально-фрезерном станке КФС-3А с фазоимпульсной фотокопировальной системой управления можно обрабатывать детали на скорости подачи до 800 мм/мин с точностью $\pm 0{,}1$ мм. Электрогидравлические системы обладают высокими статическими и динамическими показателями. Однако их часто не удается в полной мере использовать в копировальных системах из-за недостаточной точности копира (полностью они используются лишь в системах ЧПУ).

Расчет, построение и изготовление копиров. Расчетный рабочий профиль копира по длине, высоте или диаметру (для круглых копиров) должен точно соответствовать профилю обрабатываемой детали.

Профилирование копиров выполняется графическим или аналитическим методом.

При проектировании копирных планок, профиль которых незамкнут, построение упрощается. При аналитическом методе профиль копира в зависимости от конфигурации образующей рассчитывают по соответствующим формулам [5]. Копиры, предназначенные для длительного пользования, изготовляют из сталей 45, 40Х, 65Г с последующей закалкой до твердости *HRC* 45—50. Участки рабочего профиля копира, соответствующие цилиндрическим поверхностям детали, рекомендуется обрабатывать с параметром шероховатости $Rz \leqslant 0{,}63$, а участки

профиля, соответствующие торцовым поверхностям, с параметром $Rz \leqslant 1{,}25$. При этом допуски на размеры для большинства копиров составляют, мм: по высоте $\pm 0{,}01$, по длине $\pm 0{,}1$. Для небольших копировальных станков высокой точности, например электроэрозионных, шаблон изготовляют из мягкого материала с точностью до 1 мкм с помощью большого инструментального микроскопа или проектора.

СИСТЕМЫ ЦИКЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Эти системы (ЦПУ) можно классифицировать по нескольким признакам. Основные признаки: способ задания программы, содержание этапов программы, способ воспроизведения циклов, способ задания размерной информации (табл. 1).

1. Классификация систем ЦПУ

Классификационный признак	Вид ЦПУ
Способ задания программы	С набором (изготовлением) программы вне станка и на станке
Содержание этапов программы	С программированием по этапам цикла, по простым совокупностям этапов цикла, по элементарным циклам комбинированным способом
Способ воспроизведения циклов	С последовательным и возвратно-последовательным воспроизведением циклов
Способ задания размерной информации	С размерной настройкой упоров на станке, со съемными панелями и барабанами упоров

Набор программы на станке с помощью штекерных матриц, панелей с переключателями и т. д. достаточно нагляден и при простых циклах является наиболее дешевым и удобным. Менее удобно задавать программу с помощью панелей с переключателями.

Размерная информация может быть задана упорами, установленными непосредственно на станке; упорами, установленными на съемных панелях или на съемных барабанах.

Использование съемных панелей или барабанов позволяет часть настройки выполнить вне станка (не прекращая его работы). Станок останавливают лишь на короткое время для точной поднастройки упоров.

На рис. 6 приведена блок-схема системы ЦПУ, где *УЗП* — устройство задания программы; *УПВП* — устройство поэтапного ввода программы; *БУЦ* и *ТК* — блок управления циклом и технологическими командами; *УКЭП* — устройство контроля отработки этапов программы; *СП* и *РО* — соответственно силовые приводы и рабочие органы станка.

УЗП является «памятью» системы и несет информацию о цикле и режимах работы.

В качестве типовых элементов внутренней памяти используют телефонные коммутационные рамки РКГ-11-10 и РКГ-11-20 (габариты 227×88, 5×11,8 мм) соответственно на 10 и 20 гнезд; наборные секции СН-5 (габариты 57,5×48×11,5 мм) на 5 гнезд; кнопочные панели и панели с переключателями двухпозиционными (для задания команд цикла) и многопозиционными (для задания режимов).

При большом объеме информации применяют перфокарты и перфоленты.

При передаче информации о циклах и режимах с перфокарт, перфоленты, сменных барабанов с упорами в систему будет иметь место автоматический перенос.

Функцию *УПВП* могут выполнять, например, шаговые искатели, счетные релейные и электронные схемы.

Длина пути *РО* в СЦПУ задается с помощью блоков упоров, воздействующих на различные переключатели. Последние выполняют функцию *УКЭП*. Блок упоров представляет собой панель или барабан с пазами (ручьями), в которых закрепляют упоры.

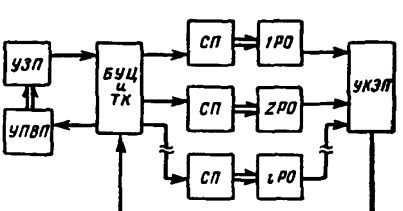


Рис. 6. Блок-схема системы ЦПУ

УКЭП могут работать по принципу выбора переключателя, выбора ручья или упора в ручье.

В устройствах первого типа при перемещении контролируемого *РО* упоры всех ручьев воздействуют на свои переключатели, но срабатывает лишь тот, номер которого задан на штекерной матрице. Такие устройства благодаря простой конструкции нашли наибольшее применение в металлорежущих станках.

В устройствах второго типа имеется один переключатель, а упоры расположены на поворотном барабане; число ручьев равно числу фиксированных положений барабана. Таким образом, при каждом этапе цикла на переключатель могут воздействовать только те упоры, которые находятся в зоне взаимодействия с переключателем. Выбор ручья осуществляется поворотом барабана в заданную позицию по программе. Такие устройства чаще применяют в станках токарно-револьверной группы, где поворот барабана связан с поворотом револьверной головки, а число ручьев соответствует числу положений револьверной головки.

В устройствах с выбором кулачка в ручье на один переключатель в процессе перемещения *РО* воздействуют последовательно ряд упоров. Номер нужного на данном этапе упора задается программой. Такие устройства применяют в сверлильных станках. Применяют также индивидуальные и групповые переключатели, в которых команду от упора могут воспринимать электрические (непосредственно контакты соединяемых цепей, микропереключатели, индуктивные, трансформаторные переключатели), гидравлические и пневматические датчики.

БУЦ осуществляет усиление, размножение команд, передаваемых на силовые приводы, а также ряд логических функций: синхронизацию

работы *СП*, переключение режимов обработки, смену инструмента (если это предусмотрено), подачу сигнала на торможение двигателей *СП*.

Электрические схемы *БУЦ* аналогичны обычным схемам непрограммной автоматики Их строят на базе той же аппаратуры и электроконтактной логики, но с более частым использованием цепей постоянного тока для логических схем. Отличаются они использованием схем переключения режимов; смены инструмента; схем для автоматического повторения программы или ее части; схем индивидуального задания команды «начало цикла» и схем контроля возврата *РО* в исходное положение; схем разделения электрических цепей для исключения ложных срабатываний аппаратов; схем, обеспечивающих индикацию работы системы.

Перечисленные особенности в значительной степени усложняют конструкцию систем ЦПУ, поэтому в отдельных моделях для упрощения они могут быть реализованы не полностью.

Переключение режимов в системах ЦПУ может производиться вручную или по программе автоматически. В последнем случае должна быть предусмотрена возможность дистанционного управления переключающими устройствами приводов с помощью электрического сигнала, так как схемы *БУЦ* вырабатывают электрический сигнал переключения.

В качестве переключающих устройств могут быть применены электромагнитные муфты механических коробок скоростей; золотники с электромагнитным управлением гидрофицированных коробок скоростей, а также электрические управляющие устройства регулируемых силовых приводов (РСП) [системы генератор постоянного тока — двигатель (Г—Д), электромашинный усилитель—двигатель (ЭМУ—Д), магнитный усилитель—двигатель (ПМУ—Д), тиристорный преобразователь—двигатель (ТП—Д)].

Смена инструмента в системах ЦПУ также может быть выполнена вручную или по программе автоматически. При смене инструмента вручную, так же, как и при переключении режимов, программируется перерыв цикла.

Устройство автоматической смены инструмента осуществляет хранение, поиск и собственно замену инструмента. В станках с системами ЦПУ обычно потребное количество инструмента не превышает 10 шт., поэтому основное устройство хранения инструмента — револьверная головка (РГ), поворот которой означает смену инструмента. В головке обычно 4—8 гнезд, но может быть до 16 (с горизонтальной осью).

По принципу выбора нужной позиции бывают РГ с автоматическим пропуском ненужных позиций без остановки в них и с обязательной остановкой последовательно во всех позициях; с поворотом в одну сторону и с реверсом; с контролем правильности выбранной позиции или без него.

Наиболее простая головка — поворачивающаяся только в одну сторону, без автоматического пропуска ненужных позиций. Эта головка особенно удобна, если количество гнезд невелико, тогда потеря производительности будет небольшой.

В качестве силового привода в оборудовании с системами ЦПУ применяют нерегулируемый электромеханический (асинхронный двигатель с механической коробкой скоростей), регулируемый электри-

ческий (по схеме Г—Д, ЭМУ—Д, ТП—Д), а также гидравлический и пневмогидравлический приводы.

Наиболее широко применяют электромеханический привод с асинхронным двигателем и механической коробкой скоростей с электромагнитными муфтами. Промышленность выпускает такой привод серийно (автоматические коробки скоростей типа АКС).

Применение в механизмах главного движения и механизмах подач регулируемых приводов с магнитными усилителями и двигателем постоянного тока упрощает их конструкцию и повышает точность останова (в механизмах подач). Промышленность выпускает серийно электропривод с магнитными усилителями типа ПМУ-П (с отношением максимальной скорости к минимальной, равным 100) и ПМУ-М (с отношением — 10).

В оборудовании с ЦПУ используют также наиболее простые модели тиристорного привода (ПКВТ, ЭТО).

Системы ЦПУ с точки зрения реализации различных команд по управлению циклом имеют более широкие возможности, чем путевые системы, и этим приближаются к СЧПУ, хотя в конструктивном отношении они значительно проще последних. Поэтому системы с ЦПУ нашли широкое применение при автоматизации различного технологического оборудования (в том числе металлообрабатывающих станков), предназначенного для серийного производства, например в токарном полуавтомате 1734, токарно-револьверном полуавтомате 1341П, фрезерном станке 6А12П, сверлильном станке СП-3, алмазно-расточном станке 2706 и др.

Программирование обработки на станках с ЦПУ состоит из подготовки и наладки системы и станка. При подготовке разрабатывают маршрутную технологию (с указанием переходов, режимов резания, режущего инструмента), составляют технологическую карту и карту наладки. Технологическая карта содержит эскиз обрабатываемой поверхности детали со схемой движения и указанием координат по этапам цикла в направлении движения РО и карту наладки. На схеме движения, составленной для каждого РО, обозначают рабочие, замедленные и холостые ходы По каждой координате вычерчивают в масштабе схему установки упоров в ручьях планок. Карта наладки содержит схему расстановки штекеров на пульте набора (на ней условно нанесены обозначения движений РО по каждому этапу программы), схему расположения упоров и характеристику элементов наладки. Для обработки периодически повторяющихся деталей изготовляют перфокарту-шаблон с пробивкой отверстий в требуемых местах. На схеме положения упоров (по координатам для каждого перемещающегося РО) указывают рабочие, ускоренные и замедленные подачи, а также требования к точности установки отдельных упоров. На карте наладки указывают также порядок движения РО, характеристику режущего инструмента и координаты его исходного положения.

Наладка станка и системы ЦПУ заключается в задании цикловых команд, задании режимов обработки, установке блоков упоров и размерной их поднастройке, установке режущего инструмента и приспособления с деталью в исходное положение.

Для серийного производства применяют блоки (сменные линейки) с упорами, которые предварительно устанавливаются с помощью специальных приспособлений или шаблонов. При мелкосерийном производстве упоры устанавливают непосредственно на станок. Для упоров

с микрометрическим винтом точную установку завершают с его помощью. После установки упоров проводят контроль и корректировку их наладки на холостом ходу станка, проверяя при этом соответствие размеров заданным для каждого этапа рабочего цикла.

СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Системы ЧПУ благодаря способности воспринимать программу, выраженную в цифровой форме, располагают значительно большими технологическими возможностями, чем системы, рассмотренные ранее.

Цифровая форма программы обеспечивает более точное задание, возможность автоматизации ее расчета, изготовления и контроля на ЭВМ и быструю замену при настройке.

ЧПУ обеспечивают также более точное воспроизведение программы с визуальным контролем с помощью блоков цифровой индикации, дисплеев, печатающих устройств со сравнительно легким корректированием ее в процессе работы станка (при необходимости).

Типовая схема ЧПУ включает в себя следующие основные устройства: задающее ЗУ (программоноситель П, устройство ввода УВ, устройство считывания УСч), устройство предварительного усиления, преобразования и памяти УУП, преобразующе-передающее устройство ППУ (вычислительный блок ВУ, блок памяти БП, блок коррекции), блок технологических команд БТК, следящий привод СлП, блок управления приводом БУП, блок цифровой индикации БЦИ.

Наиболее широко растространенными носителями программы в системах ЧПУ являются перфолента (ГОСТ 10860—68) шириной 25,4 мм для восьмидорожечной и 17,5 мм для пятидорожечной записи, магнитная неперфорированная лента * (ГОСТ 8303—76) типа 2, 4, 6 толщиной 0,06 мм или 0,12 мм и шириной 35 мм.

Устройствами считывания информации с магнитной ленты являются блок универсальных магнитных головок на 9 или 12 дорожек, а с перфоленты — устройства контактного (электроконтактного) и бесконтактного (фотоэлектрического) считывания. У контактных электромеханических устройств невысокая скорость считывания (строк в секунду) — 10—60, у фотоэлектрических — 300 и более.

Устройства ввода (лентопротяжные механизмы) обеспечивают непрерывное или покадровое движение ленты. Магнитная лента движется непрерывно со скоростью 50, 100 или 200 мм/с.

Устройство предварительного усиления (УУП) выполняет дешифрирование, контроль, предварительное усиление и запоминание считанной информации.

В дешифрирующем устройстве УУП информация кадра, записанная в каком-либо коде (чаще двоично-десятичном), преобразуется в управляющие сигналы другого вида, удобного для использования в логических блоках системы.

Устройство контроля служит для обнаружения ошибок в процессе ввода информации; для этого применяют методы, основанные на избыточности вводимой информации.

---

* В ближайшее время системы ЧПУ с магнитной лентой будут сняты с производства, так как последняя имеет сравнительно высокий уровень шумов, затрудняет введение коррекции и др.

Вычислительные устройства обычно применяют в системах ЧПУ с вводом информации на перфоленте, где они (чаще всего по заданным координатам конечных точек различных участков) выполняют расчет координат точек с интервалом, равным дискретности систем, а также расчет скоростей движения по координатам в каждой точке контура и другие функции. Эти функции выполняют линейные, круговые, линейно-круговые интерполяторы.

Все логические и вычислительные блоки в настоящее время строят на базе интегральных микросхем, а в некоторых старых системах ЧПУ, выпускаемых еще промышленностью, — на феррит-транзисторных элементах ФТЭ.

БТК служит для приема, размножения и передачи в систему различных команд по управлению циклом: переключению частоты вращения шпинделя, смене инструмента и т. д.

ППУ выполняют запоминание и дальнейшее преобразование информации, поступающей на вход следящего привода. Это блоки синхронизации, счетчики импульсов, цифроаналоговые, импульсно-фазовые и другие устройства.

Привод — одно из основных устройств системы ЧПУ, оказывающих доминирующее влияние на точность работы системы и производительность станка. В его состав входят усилители мощности, исполнительные двигатели, механические согласующие устройства (редукторы, передачи винт — гайка и т. д.), датчики обратной связи по скорости и положению, сравнивающее устройство.

К приводам главного движения станков с системой ЧПУ обычно особых требований не предъявляют. Их делают регулируемыми, чаще всего ступенчато, с автоматическим переключением скорости по программе.

В качестве приводов главного движения применяют приводы АКС (с электромагнитными муфтами), постоянного тока, ПКВТ, ЭТ01, ЭТ02 (с тиристорными усилителями), ПМУ (с магнитными усилителями), а также гидрофицированные коробки скоростей.

К приводу подач (особенно контурных систем ЧПУ) предъявляют специальные требования по обеспечению широкого диапазона регулирования (отношение максимальной скорости к минимальной до 10000 и более), стабильной работы при переменной нагрузке и на весьма низких частотах вращения (0,1—1 об/мин), высокого быстродействия, высокой чувствительности (коэффициент усиления до 150—200 $с^{-1}$). Привод подач со ступенчатым регулированием применяют лишь в прямоугольных и позиционных системах ЧПУ.

В большей степени перечисленным требованиям удовлетворяют приводы электрогидравлический с дроссельным или объемным регулированием и электрический с двигателем постоянного тока и электромашинным или тиристорным усилителем мощности, в меньшей — привод с шаговым двигателем.

Привод с шаговым двигателем и гидравлическим усилителем мощности мод. Э32Г18-22, Э32Г18-23, Э32Г18-24 и Э32Г18-25 для импульсно-шаговых ЧПУ выпускается серийно (табл. 2).

Для замкнутых систем ЧПУ серийно выпускают тиристорные приводы с импульсно-фазовым управлением ЭТ3С1Г, ПТ3Р и с широтно-импульсным управлением ЭТШР (табл. 3). Эти приводы отличаются широким диапазоном регулирования (отношение максимальной скорости к минимальной равно соответственно 1000, 2000 и 6000) и

2. Основные характеристики приводов с шаговым двигателем и гидравлическим усилителем мощности

Характеристика	Э32Г18-22	Э32Г18-23	Э32Г18-24	Э32Г18-25
Номинальное давление, кгс/см²	63	63	63	63
Максимальный крутящий момент при номинальном давлении и частоте импульсов свыше 20 имп/с, кгс·м	1,6	3,2	6,4	12,8
Наибольшая нагрузка (при 2000 имп/с), кгс	0,8	1,6	3,2	6,4
Расход масла (на 1000 об/мин), л/мин	20	40	80	160
Цена импульса, °	1,5	1,5	1,5	1,5
Наибольшая частота импульсов при плавном разгоне, имп/с	8 000	8 000	4 000	4 000
Наибольшая частота импульсов при пуске и останове (мгновенном набросе), имп/с	2 000	2 000	2 000	2 000
Максимальная частота вращения, об/мин	2 000	2 000	1 000	1 000
Статическая неточность при максимальной нагрузке, °	±1,2	±1,2	±1,2	±1,2
Ошибка в угле поворота выходного вала при отработке отдельных импульсов, °	±1	±1	±1	±1
Допускаемая инерционная нагрузка, кгс·м·с²	0,0005	0,0016	0,0038	0,0125
Наработка на отказ, ч	3 000	3 000	3 000	3 000
Долговечность, ч	10 000	10 000	10 000	10 000
Уровень шума, дБ (не более)	70	70	70	70

стабильностью характеристик при изменении окружающей температуры, но быстродействие у них ниже, чем у электрогидравлических.

У электрогидравлических приводов хорошие характеристики: при наличии обратной связи по положению, скорости, со стабилизирующей коррекцией и скоростным сигналом управления они позволяют получить отношение максимальной скорости к минимальной $D =$ $= 1000—10\,000$, наибольшую скорость движения до 5000—10 000 мм/мин, коэффициент усиления по скорости 20—100, скоростную ошибку 0—0,03 мм и общую нечувствительность ±(0,01—0,001) мм. Но они нестабильно работают при изменении температуры, и расчет их трудоемок.

В последнее время наблюдается тенденция к улучшению характеристик электродвигателя постоянного тока для улучшения характеристик электропривода. Совершенствование идет по нескольким путям. Изготовляют электродвигатели с плоским и гладким роторами. В первом обмотку укладывают на гладкую цилиндрическую поверхность якоря и заливают эпоксидной смолой, во втором — наносят печатным способом. Это позволяет уменьшить момент инерции, увеличить кратность момента M_{max}/M_{min}, повысить быстродействие. Но

8. Характеристики тиристорного привода

Привод	Двигатель	D	$N_{ном}$, кВт	Нестабильность * n, %	Габариты преобразователя, мм
ПКВТ	П ПБСТ	5	1,5—15	7	485×265× ×350
ЭТ3С1Г	ПГТ1		1	1 (ω_{max})	750×300×
	ПГТ2	1000	2	25 (ω_{min})	×350
	ПГТ4		4		
ПГ3 (6 типоразмеров)	ПБСТ23— ПБСТ63	100— 200	1,15— 11,3	5	360×320× ×620
ПТ3Р	ПБСТ22— ПБСТ63	2000	0,6—11,3	5 (D = 200) 15 (D = 1000)	360×320× ×620
ЭТ01	ЭП245	20	0,1—0,5	5 (D = 10)	285×175×
	ПС31+ПС53			10 (D = 20)	×240
ЭТ02	ПС53			5 (D = 10)	390×230×
	ПБС-22+ +ПБС-43	20	0,5—2	10 (D = 20)	×315
ЭТШР	ПСТ31+ +ПСТ53 ПБСТ22	6000	0,2—1,2	10 (D = 400) 15 (D = 2000)	800×350× ×340

* При изменении нагрузки от 0,1 до 1 от номинальной.

высокая номинальная частота вращения (до 3000 об/мин) не позволяет использовать эти двигатели без редуктора, что ограничивает их применение.

Следующим направлением является разработка новых малоинерционных высокомоментных электродвигателей со сравнительно низкой номинальной частотой вращения (800—1200 об/мин) без обмоток возбуждения, в которых для создания магнитного поля возбуждения применяют постоянные магниты из магнитных материалов с высокой коэрцитивной силой. Это позволило значительно снизить потери, габариты, массу и получить высокую кратность тока и момента по отношению к номинальным без размагничивания основного поля двигателя, а также получить весьма низкие частоты вращения ($\approx$0,1 об/мин) при равномерном вращении. По своим динамическим свойствам эти электродвигатели близки к гидродвигателям с высокой частотой вращения, работающим на среднем давлении (p=6 МН/м^2), но превосходят последние по диапазону регулирования, стабильности характеристик и не требуют редуктора.

Основу устройств обратной связи составляют датчики обратной связи.

В современных системах ЧПУ применяют в основном два вида датчиков пути: фотоэлектрические (круговые и линейные, работающие на просвет и отражение) и индуктивные (линейные и круговые индуктосины, резольверы, вращающиеся трансформаторы и сельсины). В старых системах ЧПУ еще находят применение кодовые датчики с контактными кольцами и датчики типа ДЛМ-11 с вращающимся винтом.

Разновидности СЧПУ. В настоящее время разработано большое количество систем ЧПУ, применяемых в технологическом оборудовании Они отличаются типом решаемых задач, принципом работы и конструкцией устройств.

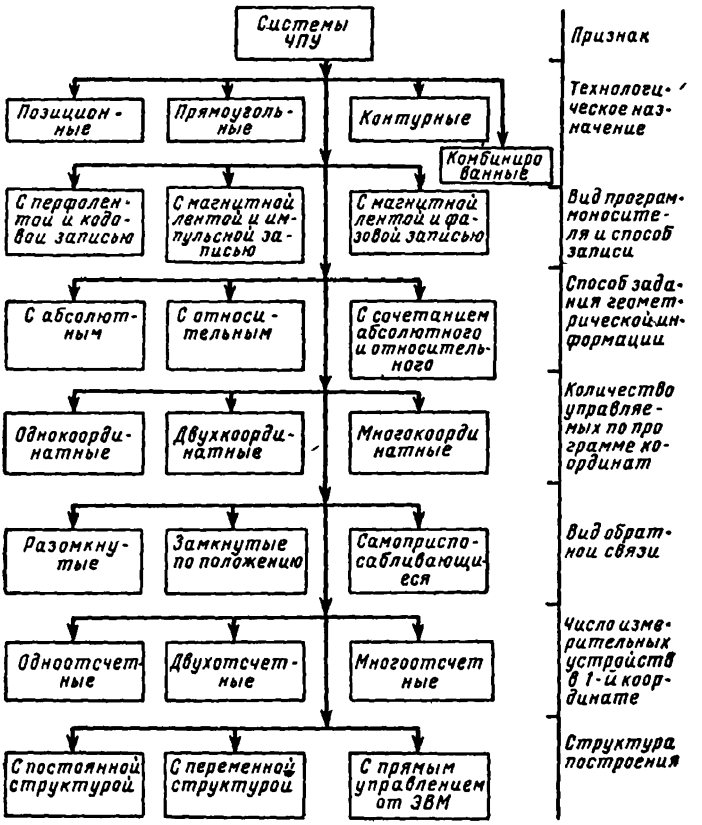


Рис. 7. Классификация систем ЧПУ

Системы ЧПУ можно условно классифицировать по следующим признакам (рис. 7): технологическому назначению; виду программоносителя и способу записи управляющей информации; числу управляемых по программе движений РО; обратной связи, числу измерительных устройство обратной связи (в одной координате); структуре построения.

По технологическому назначению системы ЧПУ делят на позиционные, прямоугольные, контурные и комбинированные.

К позиционным системам относятся системы ЧПУ, автоматизирующие в основном холостые (установочные) движения РО

от позиции к позиции, координаты которых заданы в программе. Они нашли широкое применение в координатно-расточных, координатно-сверлильных станках и другом технологическом оборудовании, где каждая операция начинается лишь после того, как РО попадает в заданную позицию.

Позиционные системы обеспечивают высокие скорости холостых движений (5—10 м/мин и более) и высокую точность позиционирования (0,05—0,001 мм).

Для обеспечения точного позиционирования при высокой скорости движения в системах предусмотрены устройства, позволяющие автома-

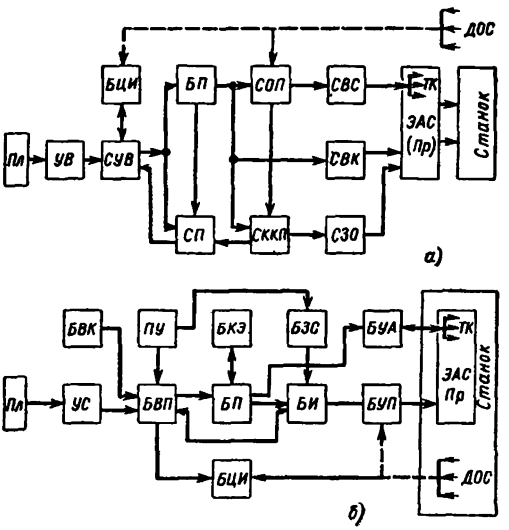


Рис. 8. Схемы систем ЧПУ:

а — позиционная; *б* — контурная; *УВ* — устройство ввода (лентопротяжный механизм и считывающее устройство); *СУВ* — схема управления вводом, схема контроля, *БП* — блок памяти; *СП* — схема повторения; *СОП* — схема отработки перемещения; *СККП* — схема контроля координатных перемещений, *СВС* — схема выбора скорости, *СВК* — схема выбора координат; *СЗО* — схема задания операций обработки, *ЭАС* — электроавтоматика станка; *ТК* — технологические команды, *ДОС* — датчики обратной связи; *БЦИ* — блок цифровой индикации; *Пр* — привод, *БВК* — блок ввода коррекции; *УС* — устройство считывания; *ПУ* — пульт управления; *БВП* — блок ввода программы; *БКЭ* — блок коррекции эквидистанты; *БЗС* — блок задания скорости; *БИ* — блок интерполяции, *БУА* — блок управления автоматикой станка; *БУП* — блок управления приводами; *Пл* — перфолента

тически ее снижать в несколько сот раз при подходе РО к заданной координате. На рис. 8, *а* приведена блок-схема позиционной ЧПУ.

Программа для них записывается на перфоленте в кодированном виде. Промышленность серийно выпускает позиционные системы ЧПУ мод. КООРДИНАТА-С-70, С-70/3, РАЗМЕР2М, СЦ-8, СЦ-9, П323, П323А, П321М, П522 (табл. 4).

4. Характеристики пози

Характеристика	«Координата С-68» *1	«Координата Р-69» *1	«Координата С-70, С-70/3»	«Размер 2М»
Число управляемых координат	2	3	2—3	5
Дискретность, мм/имп	0,01			
Запись на перфоленте: код	БЦК-5		ИСО	
число дорожек	5		8	
Максимальное перемещение, мм	До 1000			
Скорость быстрого перемещения, мм/мин	До 4000	До 10 000	До 4000	
Привод подач	Нерегулируемый (ступенчатый)			
Датчик обратной связи	Контактный (КП-3)	Сельсины	Контактный (КП-3)	Сельсины и 5-й линейный
Элементная база (элементы)	Электромагнитные реле	АСВТ	Потенциальные элементы («Урал-10»)	Интегральная «Логика»
Наличие цифровой индикации	Положение, № кадра	Положение, № кадра, № инструмента	Положение, № инструмента	Положение, № кадра, № инструмента
Габариты, мм	887×700×1850	2 400×550×2 060	637×528×1900	100×500×1440
Масса, кг	210	450	30	100

*1 Заменена «Координатой С-70».
*2 Есть ручной ввод данных и коррекция

Прямоугольные системы ЧПУ автоматизируют перемещение РО по прямым линиям (параллельным направляющим станка) в ходе выполнения собственно технологического процесса (например, резания). Они просты по конструкции и программированию.

В управляющей программе для них, как и для позиционных систем, задаются координаты начальных и конечных точек перемещения.

Прямоугольные системы применяют сравнительно редко (например, в некоторых токарных и фрезерных станках при обработке ступенчатых поверхностей деталей).

Контурные системы ЧПУ рассчитаны главным образом на автоматизацию рабочих движений РО по заданной траектории, в общем случае криволинейной (со скоростью подачи, направленной по касательной в каждой точке траектории), но также и автоматизацию холостых движений и различных технологических команд.

ционных систем ЧПУ

СЦ-9	П321М [*2]	П323, П323А	П522	СЦ-8
2	3	5	4	
0,02	—	0,01; 0,001	—	—
БЦК-5 5 9999 имп	ИСО 8 —	ИСО 8 1000	—	БЦК-5 5 9999 имп
До 2000	До 4800		До 5000	
Ступенчатый	Шаговый	Нерегулируемый (ступенчатый)	Следящий	Нерегулируемый (ступенчатый)
Импульсный фотоэлектрический ФТЭ	—	1, 2, 3 и 4-й — сельсины, 5-й ДЛМ-11	ВТ и сельсины	Импульсные ФТЭ
	Интегральные микросхемы («Логика-2»)	Потенциальные микросхемы («Урал-10»)	Интегральные микросхемы	
Перемещение, количество ходов шпинделя	—	Положение, № кадра, № инструмента	Положение, № кадра, № инструмента	—
1240×680×600	—	1250×550×1960	—	680×600×1240
100	—	500	—	100

Контурные системы обеспечивают скорости рабочих подач до 1200—1500 мм/мин, скорости быстрых ходов — до 5000 мм/мин (в отдельных случаях эти скорости могут достигать 10 и 16 м/мин). Точность обработки деталей на оборудовании с этими системами — по 3-му классу при параметре шероховатости $Rz = 2{,}5$. На рис. 8, *б* приведена блок-схема контурной системы ЧПУ.

Основные характеристики наиболее распространенных в отечественном оборудовании контурных систем приведены в табл. 5 и 6.

Контурные системы сложнее позиционных и прямоугольных СУ. В каждый момент времени они выполняют точное согласование движений РО по пути и скорости одновременно по нескольким управляемым координатам личного назначения (токарные, фрезерные, электроэрозионные и другие станки), на которых обрабатывают детали со сложными криволинейными поверхностями.

Комбинированные (позиционно-контурные) системы ЧПУ предназначены для управления сложными станками, а также

5. Характеристики контурных систем ЧПУ с записью программы на магнитной ленте

Характеристика	СЦМ-4	«Контур ЭМИ»	«Контур 4МИ»	ПФСТ-12-500; ПФСТЭ-12-500
Запись	Импульсная			Фазовая
Число управляемых координат	4	3		
Скорость быстрых перемещений или максимальная частота импульсов	2000 Гц	4800 мм/мин	480 мм/мин	1600 мм/мин
Скорость рабочих подач, мм/мин	1200		480	До 1000
Привод подач	Следящий (ЭМУ-Д)	Шаговый с ШД5-Д1	Шаговый с ШД-4	Следящий электрогидравлический
Датчик обратной связи	Фазовый	—	—	Фазовый (ВТ)
Элементная база	ФТЭ	«Юпитер»	«Логика»	ФТЭ
Частота импульсов при ускоренной подаче, имп/с	2000	8000	800	—
Габарит, мм	600× ×680× ×1500	—	700×650× ×1140 500	1115× ×700×500 150
Масса, кг	220	—		

станками, работающими по специальному алгоритму (обработка малкованных поверхностей, гребных винтов и др). К числу комбинированных систем можно отнести серийно выпускаемые отечественные системы Н55-1 и Н55-2 (табл. 6).

В комбинированных системах наряду с позиционным управлением (наклон стола, поворот револьверной головки и т. д.) используется *контурное управление движением стола* с заготовкой по трем и более координатам.

По виду программоносителя и способу записи задающей информации системы ЧПУ делятся на системы с перфолентой и кодовой записью, системы с магнитной лентой и импульсной записью и системы с магнитной лентой и фазовой записью.

Системы ЧПУ с перфолентой и кодовой записью задающей информации применяют как при позиционном, так и при контурном управлении (см. рис. 8).

Системы с магнитной лентой (МЛ) применяют при контурном управлении. Интерполятора здесь не требуется, так как задающая информация на магнитной ленте записана в декодированном виде подробно с учетом разложения результирующей скорости по координатам. Изготовление управляющей программы на МЛ выполняется на установках записи и контроля, в состав которых входят интерполятор, импульсно-фазовый преобразователь и координатограф (для контроля). Исходная программа для интерполятора записывается на перфоленте. Такая многоступенчатость при изготовлении управляющей программы была оправдана на первоначальном этапе развития ЧПУ, так как позволяла сократить потребное количество интерполяторов,

стоимость которых была сравнительно высокой, а надежность — низкой. С переходом на интегральные схемы надежность интерполяторов возросла, а из-за неудобств, связанных с использованием магнитной ленты (сравнительно высокий уровень шумов, удлинение сроков подготовки производства, трудности введения коррекции, ограничение скорости движения и т. д.), в последнее время наблюдается тенденция к отказу от них и замене магнитной ленты перфолентой.

Информация на магнитной ленте может быть зафиксирована в виде импульсной (рис. 9, *а*) или фазовой (рис. 9, *б*) записи. При изготовлении

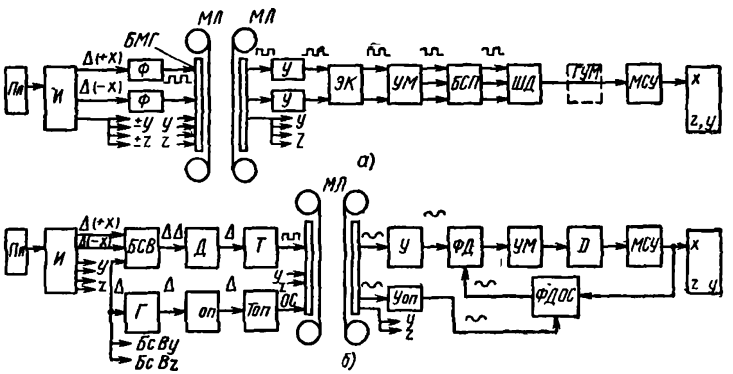


Рис. 9. Функциональные схемы систем ЧПУ с магнитной лентой:

а — с импульсной записью; *б* — с фазовой записью; *Пл* — перфолента; *И* — интерполятор; *Ф* — формирователь; *БМГ* — блок магнитных головок; *МЛ* — магнитная лента; *У* — усилитель считывания, *ЭК* — коммутатор, *УМ* — усилитель мощности; *БСП* — блок согласующих потенциометров; *ШД* — шаговый двигатель; *ГУМ* — гидравлический усилитель мощности; *МСУ* — механическое согласующее устройство; *БСВ* — блок сложения (вычитания) фаз; *Д* — делитель; *Т* — триггер; *оп* — делитель опорной частоты; *Топ* — триггер опорной частоты; *ОС* — опорный сигнал; *У* — усилитель считывания; *ФД* — фазовый дискриминатор; *УМ* — усилитель мощности; *Д* — двигатель; *ФДОС* — фазовый датчик обратной связи по положению; *Уоп* — усилитель опорного сигнала

программы с фазовой записью, кроме интерполятора, используется импульсно-фазовый преобразователь, а в случае импульсной записи — только интерполятор. Например, в серийно выпускавшихся системах типа «Контур 3МИ» и «Контур 4МИ» (рис. 9, *а*) используется магнитная лента с импульсной записью, а в системах ПФСТ-12-500 и ПФСТЭ-12-500 с фазовой записью (рис. 9, *б*). Раньше также применялась запись информации на МЛ в виде пачки импульсов (по трем дорожкам для каждой координаты).

По способу задания геометрической информации системы ЧПУ можно разделить на системы с абсолютным и относительным отсчетом координат, а также с сочетанием абсолютного и относительного отсчета.

В системах с абсолютным отсчетом все размеры задаются и отсчитываются от одной (не изменяемой в процессе отработки) базы. Эти системы свободны от «накопленной» ошибки. Этот принцип используется при позиционном управлении.

6. Характеристики контурных систем ЧПУ

Тип	Интерполятор	Число координат	Запись на перфоленте: Код	Запись на перфоленте: Число дорожек	Скорость быстрых перемещений, мм/мин	Скорость рабочих подач, мм/мин	Привод подач
«Контур 2П-68»	Линейный	2	БЦК-5	5	800 * Гц	480	Шаговый с ШД-4
«Контур 3П-68»		3			2000 * Гц		
«Контур 2ПТ-71»		2			7800 * Гц	4800	С ШД5-Д1
«Контур 5П» (Н331, Н332)	Линейно-круговой	3	ИСО	8	4800	1200	Шаговый с ШД5-Д1
УМС-402; УМС-403	Линейный	4	ИСО; БЦК-5	8 или 5	∠4000	20—450	Шаговый с ШД-5
СЦП-4М	Линейный (ИЛ-4К)	4	БЦК-5	5	2400	1200	Следящий тиристорный, ЭМУ и ДПТ
СЦП-5А		5					Следящий тиристорный ПТ/ЗР или ЭМУ и ДПТ
ЭМ-907	Линейно-круговой	2	ИСО	8	4800	1200	Шаговый с ШД5-Д1
Н221М							
Н331М		3					
Н332М		2					Следящий тиристорный
Н55-1		5					Шаговый с ШД5-Д1
Н55-2							Следящий

* Максимальная частота импульсов.

В системах ЧПУ с относительным отсчетом пути база отсчета непостоянна, что может приводить к накопленным ошибкам. Но, с другой стороны, для точек, расположенных друг от друга на одинаковых расстояниях, этот принцип позволяет использовать один и тот же кадр программы, что упрощает программирование.

В системах с комбинированным отсчетом используются абсолютный и относительный методы отсчета.

Признаки: «число управляемых координат» и «обратная связь» рассматривались ранее в общей классификации СУ.

Системы ЧПУ по виду обратной связи делятся на замкнутые по положению (с обратной связью по положению РО) и самоприспосабли-

записью программы на перфоленте

Датчик обратной связи	Элементная база	Габариты, мм	Масса, кг	Примечание
—	«Логика»	570×450×1580	135	—
	«Юпитер»	650×560×1660	500	
			180	Есть цифровая индикация
	Интегральные схемы или АСВТ	1650×720×1920	550	Есть цифровая индикация (коррекция)
	ФТЭ	1400×600×1600	300	Есть цифровая индикация (коррекция по длине и радиусу)
Фазовый (ДПР, ДПЛ, ВТМ-1В) Фазовый фотоэлектрический (ДПР и ВТМ-1В)		750×575×1700	200	Три технологические команды
		750×600×1700	240	Есть устройство запоминания динамической ошибки
—	Дискретные элементы	—	—	Есть коррекция положения
	Интегральные элементы («Логика-2»)	1200×450×1600	300	Есть ручной ввод данных, коррекция положения
		1200×150×1600	500	Есть ручной ввод данных, коррекция длины, радиуса инструмента
Фазовый ВТМ-1М		1600×700×1800	300	
—		1800×600×1600	400	Есть коррекция длины, радиуса, положения инструмента
Фазовый ВТМ-1В ДЛМ-11		1600×600×1800	650	

вающиеся (с несколькими обратными связями, контролирующими не только положение РО, но и параметры технологического процесса и другой необходимой информации). Благодаря сбору этой дополнительной информации самоприспосабливающиеся системы позволяют оптимизировать процесс управления по требуемым параметрам.

Самоприспосабливающиеся СУ. В самоприспосабливающихся системах управления (СМПС) алгоритмы или параметры управляющих воздействий автоматически и целенаправленно изменяются для осуществления оптимального управления объектом при заранее неизвестном законе изменения его характеристик или воздействия внешней среды.

В зависимости от того, что оптимизируют СМПС, различают геометрические и технологические системы.

В геометрических СМПС осуществляется управление упругими перемещениями органов станка, что позволяет повысить точность перемещения РО в целом.

В технологических предельных СМПС оптимизация выполняется по предельным параметрам обработки (нагрузка на двигатель: крутящий момент, частота вращения, подача; нагрузка на инструмент: сила и глубина резания, скорость, подача), в технологических оптимальных — по экономическим параметрам, например по себестоимости изготовления детали.

С помощью предельных СМПС удобно осуществлять на станках с ЧПУ холостые проходы без дополнительного программирования, автоматическое распределение припуска, контроль стойкости инструмента.

Серийно промышленностью СМПС не выпускаются.

По числу измерительных устройств, используемых в одной координате для измерения положения РО, системы ЧПУ можно разделить на одно-, двух- и многоотсчетные.

Наибольшее распространение сейчас имеют одноотсчетные системы. В них точность измерения в основном зависит от точности датчика, поэтому для точных систем приходится применять высокоточные датчики.

В многоотсчетных системах точность измерения определяется не только точностью датчиков, но и передаточным отношением звеньев, с помощью которых они соединены между собой. Это позволяет снизить требования к датчикам или при одинаковых требованиях увеличить точность измерения. Сложность системы ЧПУ вместе с этим увеличивается.

Многоотсчетные устройства применимы для позиционных систем, а одноотсчетные — для контурных и позиционных. В современных системах, как правило, многоотсчетные устройства не применяют.

По структуре построения системы ЧПУ можно разделить на три группы: с постоянной, с переменной (гибкой) структурой и с прямым управлением от центральной ЭВМ.

В системах ЧПУ с постоянной структурой все операции, составляющие алгоритм работы, выполняются параллельно с помощью своих вычислителей — отдельных цепей или устройств (блоков), реализующих определенную функцию (например, простейшие виды интерполирования, управление приводами и т. д.). Эти системы — специализированные СУ, рассчитанные на определенный тип технологических процессов, на работу с конкретным набором цифровых входных сигналов. Система реагирует на них так, чтобы управлять станком заранее известным способом с помощью логических схем (модулей).

Всякое усложнение задач управления приводит к увеличению числа блоков системы и усложнению ее структуры. Область применения таких систем — сравнительно простые станки с прямоугольным, позиционным и контурным (в плоскости) управлением. Большинство серийно выпускаемых систем (Н221М, Н332М и др.) построено по такому принципу.

Системы ЧПУ с переменной структурой строят по принципу универсальной ЭВМ, где все операции производятся

последовательно с помощью центрального вычислительного блока. Добавление каких-либо функций не меняет существенно ее структуры, а сводится в основном к изменению схемы управления управляющего устройства и увеличению числа внешних устройств.

В этих СУ используют в большинстве случаев стандартные блоки ЭВМ, но при необходимости могут быть добавлены и специальные блоки (например, для введения коррекции радиуса инструмента, расчетов режимов резания и т. д.).

В память этих систем ЧПУ записывается не только программа управления станком, но и программа, определяющая собственную структуру системы.

Такой принцип построения системы позволяет значительно расширить технологические возможности оборудования, упростить программирование обработки, оптимизировать программирование путем использования различных готовых подпрограмм (специальное математическое обеспечение ЭВМ).

Таким образом, структура таких систем ЧПУ более универсальна, приспособлена к решению самых разнообразных задач по управлению сложными многооперационными станками и позволяет более эффективно использовать адаптивное управление (СМПС). По такому принципу построены серийно выпускаемые в СССР системы Н55-2.

Системы прямого управления от центральной ЭВМ, как правило, используют для группового управления станками. Сопряжение станков с общей системой управления осуществляется через индивидуальные блоки управления станками (упрощенные системы ЧПУ).

ЭВМ осуществляет функции расчета, оптимизации, контроля, ретрансляции управляющей информации, ее распределения по станкам, а также контроль за выполнением циклов работы станков, диагностику их работы и т. д.

Индивидуальные блоки управления на станке предназначены: для простой интерполяции (сложную интерполяцию — кубическую, параболическую и т. д. осуществляет машина); запоминания информации, поступающей от ЭВМ; управления работой следящих приводов станка (если это не выполняет ЭВМ).

К индивидуальным блокам управления могут быть отнесены: дисплей для ввода-вывода информации, блок управления транспортными и другими устройствами, датчики контроля выполнения технологического процесса, блоки адаптивного граничного управления и т. д.

Программирование обработки на станках с ЧПУ. Программирование обработки заключается в разработке наиболее производительного технологического процесса с максимальным использованием всех возможностей станка и ЧПУ, расчете траектории движения инструмента, кодировании всей информации, записи ее на программоноситель и контроле программы управления

Разработка технологического процесса (определение последовательности обработки, выбор оборудования, инструмента, расчет размеров заготовки, режимов резания и т. д.), как правило, выполняется технологом с максимальным использованием типовых технологических процессов, нормализованной оснастки и инструмента.

Расчет траектории движения (геометрическая информация) для простых задач с небольшим объемом информации (позиционные и пря-

моугольные ЧПУ) производится вручную, а для сложных (например, контурные ЧПУ) — с помощью ЭВМ.

Расчет геометрической информации для позиционных и прямоугольных ЧПУ заключается в пересчете размеров, определении координат опорных точек, кодировании информации (преобразование ее в вид, воспринимаемый конкретной системой ЧПУ) и контроле.

Наиболее трудоемок расчет программ для контурных ЧПУ, так как объем информации здесь увеличивается вследствие аппроксимации криволинейных участков траектории, расчета скоростей движения по координатам, расчета участков торможения-разгона, расчета коррекции на размер инструмента и т. д.

Автоматизация этих расчетов осуществляется на ЭВМ с помощью систем автоматического программирования (САП).

САП представляет собой математическое обеспечение ЭВМ: комплекс инструкций по программированию и программ-алгоритмов (преобразующие, логические и вычислительные), предназначенных для записи исходной информации, приведения ее к каноническому виду, пополнения недостающей информации, преобразования на язык машины, выполнения над ней необходимых логических и вычислительных операций по расчету траектории движения инструмента (иногда и по проектированию технологического процесса), контроля, формирования команд для конкретной ЧПУ и записи их на программоноситель.

Программы-алгоритмы САП записывают на магнитной ленте или магнитных дисках; они включают в себя три основных части: транслятор, процессор и постпроцессор. С помощью транслятора осуществляется считывание и расшифровка исходной информации, перевод ее на язык машины. Транслятор ориентирован на определенный тип ЭВМ. Процессор производит необходимые логические действия и организует работу ЭВМ по выполнению необходимых вычислительных операций, а также контролю и редактированию полученной информации. Процессор вырабатывает общее решение и не связан с конкретной ЧПУ. В геометрическую часть процессора входят операторы геометрических описаний и программы геометрических вычислений. В качестве геометрических элементов обычно используют линии и поверхности не выше второго порядка, распространенные поверхности более высокого порядка (торы, трубчатые и каноидные поверхности), а также табличные кривые и поверхности и т. д., для программирования обработки которых имеются подпрограммы.

В технологическую часть, кроме операторов технологических описаний, могут входить программы-алгоритмы назначения зон обработки, выбора «колодцев» обработки, определения количества переходов, последовательности их выполнения, расчета режимов резания и т. д. Постпроцессор представляет собой сменные программы-алгоритмы, ориентированные на конкретную ЧПУ. С их помощью выполняется преобразование информации из процессора на машинном языке в форму записи, воспринимаемую конкретной системой ЧПУ.

Существующие САП различаются степенью универсальности и полнотой автоматизации выполняемых расчетов, особенно по проектированию технологических процессов. При наличии в САП алгоритмов по проектированию технологических процессов они становятся более специализированными и предназначаются для определенного типа операции; например, САП для фрезерных (САП-2, САП-3, САП-4 и т. д.), токарных (СПС-Т, СПС-ТАУ и т. д.), сверлильных (СПС-К) операций.

Использование ЭВМ и САП значительно упрощает процесс программирования. Вместо расчета трудоемкой управляющей программы для конкретной ЧПУ составляется более простая исходная программа для ЭВМ на языке САП, которая состоит из двух частей: «Обозначение участков контура» и «Строка обхода».

В первую часть записывают отдельные элементы траектории (точки, прямые, окружности и т. д.) и некоторые технологические данные (погрешность аппроксимации, цену импульса и т. д.), а во вторую — последовательность обхода этих элементов.

Чтобы получить необходимые данные, предварительно строят эскиз обработки, наносят на него траекторию движения с расчетной системой координат, обозначают исходную точку; элементам присваивают их порядковые номера с добавлением соответствующего символа.

Исходная программа набивается на перфоленте или перфокартах, вводится в ЭВМ, а управляющая программа для конкретного станка (системы ЧПУ) получается на выводном устройстве машины в виде перфоленты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Богуславский Б. Л.** Автоматы и комплексная автоматизация. М. «Машиностроение», 1964. 355 с.

2 **Киселев В. М.** Фазовые системы числового программного управления станками. М., «Машиностроение», 1976 352 с

3 **Лещенко В. А.** Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением. М., «Машиностроение», 1975. 287 с.

4 **Малов А. Н., Иванов Ю. В.** Основы автоматики и автоматизация производственных процессов. М., «Машиностроение», 1974 368 с.

5 **Плотицин В. Г.** Расчеты, настройка и наладка фрезерных станков Л., «Машиностроение», 1969. 183 с.

6 **Станки** с программным управлением. Справочник. М., «Машиностроение», 1975, 287 с Авт.: Г. А. Монахов, Л. А. Оганян, Ю. И. Кузнецов и др

7 **Цикловое** программное управление металлорежущими станками М., «Машиностроение», 1971 152 с.

8. **Шаумян Г. А.** Комплексная автоматизация производственных процессов М., «Машиностроение», 1973. 638 с.

Глава 7

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

ВКЛЮЧЕНИЕ И ВЫКЛЮЧЕНИЕ

Во многих металлорежущих станках включение и выключение движения осуществляются соединением или разрывом кинематической цепи механическим, электрическим или гидравлическим управлением. Механизмы включения и выключения могут быть управляемые и самоуправляющиеся. Управляемые механизмы переключают вручную или с помощью специальных приводов, срабатывающих при поступлении соответствующих сигналов управления, которые подаются станочником или системой автоматического управления.

К механическим управляемым механизмам включения и выключения относятся подвижные и накидные зубчатые колеса, передвижные шпонки, муфты кулачковые, фрикционные, электромагнитные и т. д.

Механизмы включения и выключения срабатывают с помощью электродвигателей небольшой мощности (рис. 1, *а*), тяговых электромагнитов (рис. 1, *б*), гидравлических приводов (рис. 1, *в*) и т. д.

Включение и выключение исполнительных двигателей зависит от типа и вида двигателя. Пуск и останов электрических двигателей осуществляются электрическим сигналом от датчиков или промежуточного реле. В двигателе переменного тока сигнал поступает в обмотку управления, а в двигателе постоянного тока сигнал направляется в обмотку якоря или в обмотку возбуждения, в зависимости от управления двигателем.

На рис. 2 показана схема пуска нереверсивного электродвигателя. При нажатии на кнопку «Пуск» ток пойдет в цепи управления по проводу *1* к кнопке «Пуск», кнопке «Стоп», катушке контактора *К* (магнитного пускателя), контактам тепловых реле *РТ2* и *РТ1* и привод М. В результате произойдет включение катушки контактора *К*, замыкание трех главных контактов *1—3* главной цепи и блокировочных контактов; электродвигатель будет включен в сеть, а ток независимо от размыкания кнопки «Пуск» будет идти по цепи управления через блокировочные контакты. Двигатель отключают от сети кнопкой «Стоп».

Широкое применение в металлорежущих станках находят автоматическое переключение и выключение движения в функции пути и времени На рис. 3 показана схема электрического управления станком в функции пути с помощью упоров *1* и *2*, установленных и закрепленных на подвижной каретке станка. Кнопкой *4* электромагнит *5* включает контакты *6* электродвигателя *7*, и каретка перемещается влево, пока упор *2* не нажмет на путевой переключатель *3*. Он разомкнет контакты *6* и замкнет катушку *8* и контакты *9*, которые изменяют вращение двигателя *7*, и каретка начнет перемещаться вправо до тех пор, пока упор *1* не нажмет на конечный выключатель *10*, который выключит двигатель *7*.

На рис. 4 показано устройство для автоматического выключения круглошлифовального станка от электроконтактного датчика. В процессе шлифования щуп *2* миниметра находится в контакте со шлифуемой поверхностью детали *1*. На стрелке миниметра *3* находится контакт *4*, который замыкается с контактом *5* при достижении требуемого размера детали *1*, и при этом электрический ток поступает в катушку *6* промежуточного реле, а его якорь замыкает контакты *7*. В результате

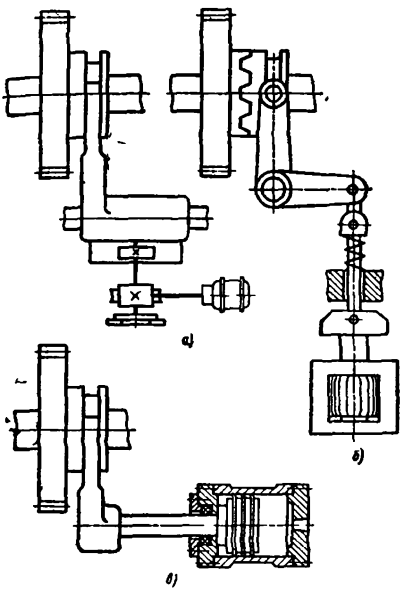


Рис. 1. Приводы механизмов включения и выключения

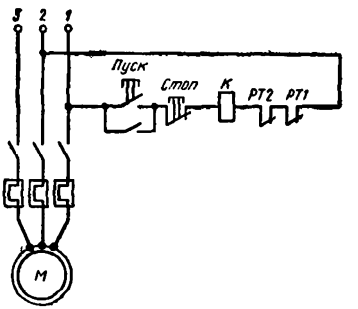


Рис. 2. Схема электрического управления нереверсивного электродвигателя

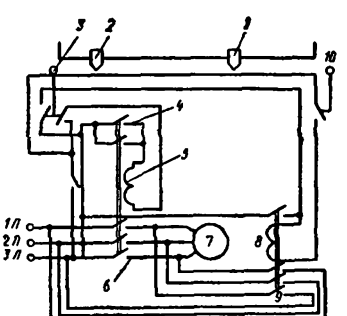


Рис. 3. Схема управления станком по пути

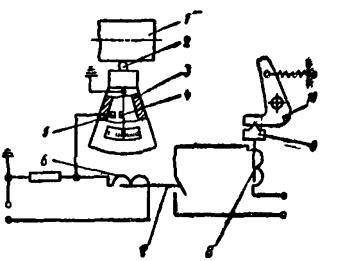


Рис. 4. Схема автоматического выключения круглошлифовального станка с помощью электроконтактного датчика

якорь электромагнита *8* с защелкой *9* опускается и рукоятка *10* прекращает движение станка.

Для выключения внутришлифовального станка при шлифовании сквозного цилиндрического отверстия широкое распространение по-

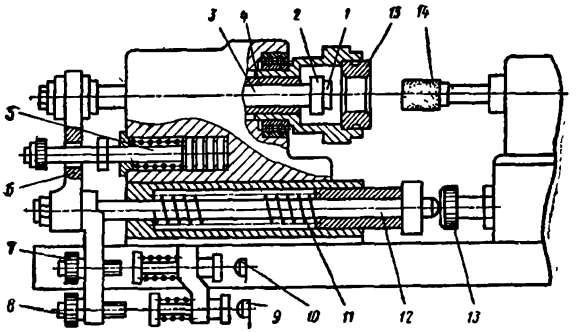


Рис. 5. Схема автоматического выключения внутришлифовального станка с помощью механического датчика

лучило устройство с жесткими калибрами (рис. 5). Внутри полого шпинделя станка находится шток *3*, на конце которого закреплены две калибр-пробки — черновая *1* и чистовая *2*. Когда шлифовальный

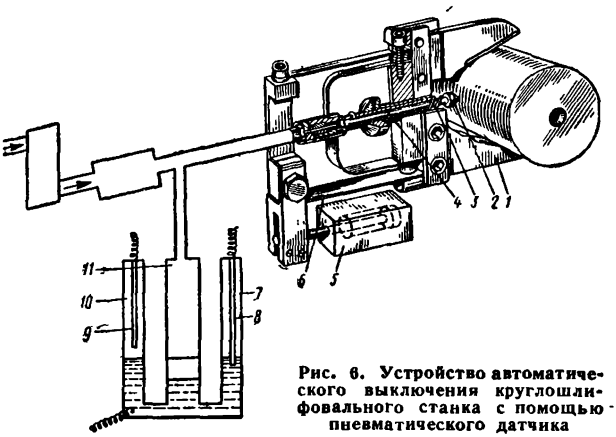


Рис. 6. Устройство автоматического выключения круглошлифовального станка с помощью пневматического датчика

круг *14* входит в обрабатываемое отверстие детали *15*, регулируемый упор *13*, установленный на суппорте станка, нажимает на стержень *12* и отводит его влево вместе с траверсой *6* и калибр-пробками. При каждом обратном ходе суппорта пружина *11* перемещает вправо калибр *1*, и он стремится войти в шлифуемое отверстие. Возвратно-поступательное движение штока *3* совершается в течение всего периода шлифова-

ния. Когда будет сошлифован черновой припуск, калибр *1* войдет в отверстие детали, упор *7* замкнет контакт *10*, который выдаст команду на правку шлифовального круга и смену подачи на чистовое шлифование. Вхождение чистового калибра *2* в отверстие будет свидетельствовать о достижении окончательного размера шлифуемого отверстия, при этом упор *8* замкнет контакт *9*, который выдаст команду на выключение станка. Калибр отводится в исходное положение гидроприводом *5*.

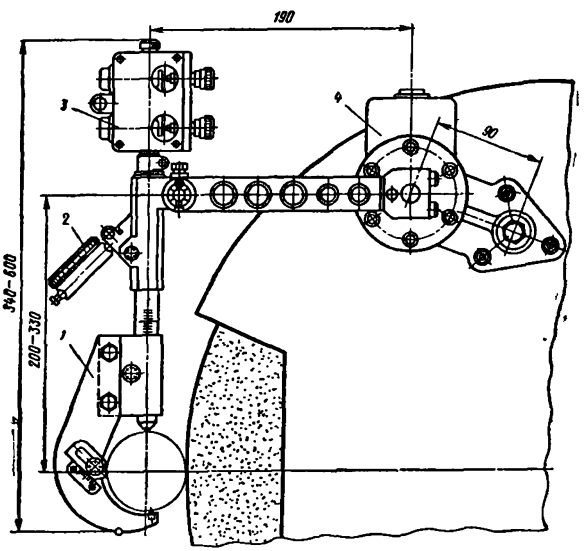


Рис. 7. Устройство автоматического выключения круглошлифовального станка с помощью трехконтактной скобы

На рис. 6 показано устройство с пневматическим датчиком для автоматического выключения круглошлифовального станка при шлифовании вала. Измерительным элементом устройства является седлообразная скоба *1*, которая закреплена на пружинах *6* и подводится к шлифуемому валу гидроцилиндром *5*. В наконечнике *2* находится пружина *3*, прижимающая измерительный шток *4* к шлифуемому валу. У левого торца штока *4* с зазором расположено сопло, соединенное трубкой с пневмортутным датчиком. По мере снятия припуска с шлифуемого вала скоба садится на него глубже, чем шток *4*, уменьшая зазор, в результате чего увеличивается давление воздуха в трубке *11* датчика. Ртуть в трубках *7* и *10* поднимается и вначале замыкает электроконтакт *8*, переключив механизм станка с черновой подачи шлифовального круга на чистовую. При дальнейшем снятии припуска зазор будет уменьшаться, а давление воздуха в трубке *11* — увеличиваться. При достижении требуемого размера вала ртуть в трубке *10* замкнет контакт *9*, конец которого расположен выше конца контакта *8*, подача выключится, и начнется процесс «выхаживания», который автоматически кончается, и станок останавливается.

Трехконтактное устройство (рис. 7) выполняют обычно в виде накидной скобы *1*, монтируемой на кожухе шлифовального круга с помощью амортизатора *4*. Устройство снабжено индикатором *2* для визуального наблюдения и электроконтактным датчиком *3* для автоматического изменения режима шлифования и выключения станка. Точность этого устройства ±3 мкм. Включение гидравлических двигателей осуществляется подачей жидкости. Подачу жидкости прекращает двигатель. Пневматические двигатели связаны с подачей и прекращением подачи сжатого воздуха от сети или от специального компрессора.

ТОРМОЖЕНИЕ И СИНХРОНИЗАЦИЯ

Торможение. Для уменьшения продолжительности останова электроприводов применяют электрические и механические методы торможения. При электрическом торможении используют способность электрических двигателей развивать в определенных условиях тормозные моменты. Существуют три способа электрического торможения: динамический, генераторный и противовключением.

При динамическом торможении цепь якоря вращающегося двигателя отключается от сети и замыкается на реостат. Обмотка возбуждения остается подключенной к сети. В обмотке якоря, вращающегося по инерции, индуцируется ЭДС, которая поддерживает ток в этой цепи. Ток в цепи якоря взаимодействует с магнитным полем и создает тормозной момент, а при остановке двигателя ЭДС якоря, его ток и тормозной момент падают до нуля. Для получения генераторного торможения необходимо, чтобы частота вращения ротора электродвигателя была больше частоты вращения магнитного поля статора. В этом случае двигатель является генератором и через обмотку статора будет отдавать электроэнергию в сеть.

При переключении двух фаз обмотки статора работающего электродвигателя его магнитное поле начинает вращаться в обратную сторону, а ротор по инерции будет продолжать вращаться в прежнем направлении. В этом случае возникает торможение противовключением, которое широко распространено в станкостроении, хотя при таком торможении имеет место значительный нагрев двигателя, и поэтому количество торможений должно быть ограничено. Для станков используют также двигатели с встроенным или пристроенным тормозом, управляемым электромагнитом и обеспечивающим механическое торможение. Электромагнитные тормоза применяют в виде электромагнитных муфт, соединенных с дисковым (рис. 8, *а*) и ленточным (рис. 8, *б*) тормозом. На валу *1* ленточного тормоза жестко закреплен тормозной диск *2*. Его наружную поверхность охватывает стальная лента, внутри которой помещена катушка *3*. При включении тока в эту катушку лента притягивается к тормозному диску *2* и плотно охватывает его наружную поверхность. Концы ленты закрепляют в неподвижном корпусе *4*, осуществляя торможение тормозного диска *2* с валом *1*.

В гидравлических системах торможение движения производят обычно с помощью путевых дросселей. Такие дроссели широко используют в гидроприводах шаговых транспортеров автоматических линий, их выпускают трех типоразмеров. Поворотные столы автоматических линий и агрегатных станков, приводимые в движение от гидроприводов, тормозятся с помощью демпферов переменного сечения.

Синхронизацией работы генератора называется процесс подготовки его к включению для параллельной работы с другими, уже подключенными генераторами. К моменту включения генератора в сеть должны быть обеспечены следующие условия: равенство напряжений синхронизируемого генератора и сети; равенство частот тока; совпадение фаз напряжений. Выполнение первых двух требований проверяется легко — с помощью вольтметров и частотомеров, разделенных для сети и синхронизируемого генератора. Напряжение генератора подгоняется к напряжению сети с помощью регулировочного реостата.

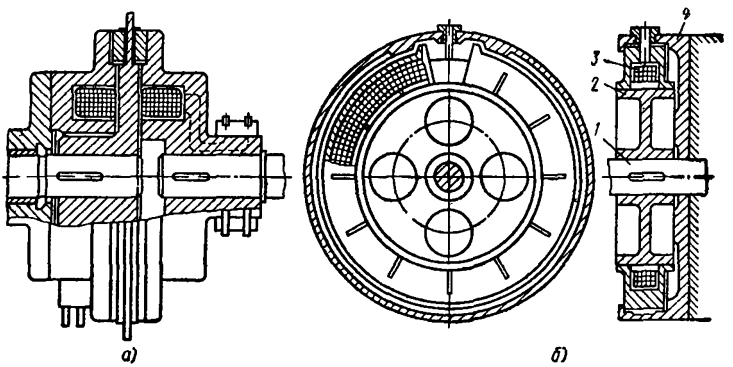


Рис. 8. Электромагнитные тормоза:
а — дисковый; *б* — ленточный

а частота генератора регулируется изменением частоты вращения. Технически сложно обеспечить совпадение фаз. Для этого применяют особые устройства, называемые синхроноскопами. В последние годы широко применяется метод самосинхронизации или «грубой» синхронизации. В этом случае угловую скорость генератора увеличивают первичным двигателем до угловой скорости, близкой к синхронной, и без возбуждения ротора включают в сеть, подавая ток в обмотку ротора. Преимущество этого метода — простота и быстродействие. При работе синхронного генератора параллельно с другими в достаточно мощной системе его напряжение и частота не могут быть произвольно изменены; они всегда равны напряжению и частоте системы.

Синхронизация работы гидравлических двигателей. При одновременной работе нескольких гидравлических двигателей в одной системе часто возникает потребность в строгой согласованности, т. е. в синхронизации работы двух и более двигателей по скорости и пути. При различии в размерах цилиндров, температуре жидкости, утечке и т. д. синхронизация их работы усложняется из-за различных скоростей движений поршней и пути, проходимого ими в определенное время. Тем не менее синхронизация достигается несколькими способами. Жесткое соединение валов двух одинаковых гидродвигателей обеспечивает хорошую синхронизацию их. Синхронное движение гидродвигателей можно обеспечить последовательным соединением их полостей (рис. 9, *а*) или питанием их от двух

насосов равной производительности. Для этих целей применяют специальные устройства — делители потока (рис. 9, *б*). Принцип действия делителя потока состоит в следующем. Через штуцер *2* жидкость поступает от насоса и через кольцевые щели *1* и *4* попадает в полости *6* и *7*, из которых направляется к гидродвигателям через выходы *5* и *8*. Если, например, давление в сети выхода *8* повышается, то жидкость, действуя через канал *3* на торец золотника *9*, перемещает его влево, уменьшая проходное сечение отверстия выхода *5* жидкости к другому

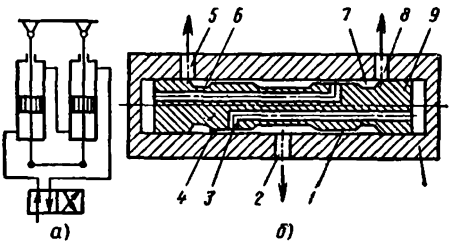


Рис. 9. Синхронизация гидродвигателей

гидродвигателю. Таким образом, установится равенство давлений на пути к обоим гидродвигателям, обеспечивая равенство расходов жидкости, а следовательно, равенство угловых скоростей гидродвигателей.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Регулирование частоты вращения ротора электродвигателя постоянного тока осуществляется изменением: тока возбуждения двигателя, напряжения, подводимого к двигателю, и сопротивления в цепи якоря. Наиболее широкое применение получили первые два способа регулирования; третий способ применяют редко, так как частота вращения ротора двигателя при этом значительно зависит от колебаний нагрузки. Ток возбуждения двигателя постоянного тока можно регулировать реостатом. При увеличении сопротивления в цепи ток возбуждения уменьшается, частота вращения ротора двигателя увеличивается. Пределы регулирования частоты вращения таким способом не превышают 1,2—1,3 номинальной. При регулировании изменением напряжения требуется источник постоянного тока. Такое регулирование используют во всех промышленных системах электропривода.

Частоту вращения ротора двигателя переменного тока регулируют изменением: частоты тока в сети, числа пар полюсов и скольжения. Частота вращения магнитного поля двигателя прямо пропорциональна частоте питающего источника. В качестве источников питания с регулируемой частотой применяют синхронный регулятор, частота которого меняется путем изменения его частоты вращения, асинхронный или ионный преобразователи частоты. Частоту вращения ротора двигателя в данном случае можно плавно изменять в широком диапазоне. При увеличении частоты питающего напряжения вращающий момент двигателя уменьшается. Этот способ широкого распространения не получил, так как преобразователь громоздок и дорог. Электродвигатели с изменением числа пар полюсов нашли широкое применение в металлорежущих станках, насосах, вентиляторах и т. д.

Ионный преобразователь частоты применим лишь для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, в которых обмотка каждой фазы статора состоит из двух одинаковых обмоток.

Третий способ регулирования частоты вращения ротора электродвигателя — изменением скольжения — зависит прежде всего от питающего напряжения сети, от нагрузки на валу двигателя и от сопротивления обмоток ротора. При регулировании частоты вращения ротора электродвигателя изменением скольжения используют введение в цепь ротора дополнительных сопротивлений. При постоянном моменте нагрузки на валу частота вращения падает. Регулирование частоты вращения происходит плавно. Такой способ регулирования частоты вращения нашел широкое применение в крановом электрооборудовании, где очень важно обеспечить большой пусковой момент. Недостаток данного способа — потеря мощности, идущей на нагрев сопротивлений. В станкостроении этот способ не нашел применения, так как незначительное изменение нагрузки на валу приводит к резкому изменению частоты вращения ротора, а следовательно, — к изменению режимов резания.

Часто для главных приводов станков, особенно малых и средних размеров, используется нерегулирумый асинхронный короткозамкнутый двигатель. Автоматическое регулирование частоты вращения шпинделя станка осуществляется ступенями, путем переключения зубчатых колес коробки скоростей, что достигается применением электромагнитных фрикционных многодисковых муфт (рис. 10), гидроцилиндров (рис. 11), электрических серводвигателей.

Электрическое бесступенчатое регулирование частоты вращения главного привода используют в станках, где момент сопротивления на значительной части диапазона сохраняется приблизительно постоянным. В этом случае вместо коробки скоростей с переключающими зубчатыми колесами применяют соответствующий редуктор.

В станкостроении в качестве регулируемых главных приводов широкое применение получили приводы постоянного тока по системе генератор—двигатель с электромашинным усилением (ЭМУ), обеспечившим плавное регулирование угловой скорости в требуемом диапазоне. В приводах подач, как и в главных приводах, используют механическое и электромеханическое ступенчатое регулирование. В небольших и средних станках подача режущего инструмента осуществляется от главного привода через самостоятельную коробку подач, где имеется требуемое количество ступеней переключения. Но во многих станках для упрощения кинематической цепи и повышения точности обработки деталей предусматриваются самостоятельные приводы для главного движения и подачи. Как правило, мощность приводов подач значительно меньше мощности главного привода. Применяют различные способы регулирования скорости приводов подач, которые зависят от мощности привода, режима его работы, диапазона, плавности и точности регулирования. Наиболее громоздко устройство коробки подач при механическом регулировании подачи. Значительно проще коробка подач при ступенчатом электромеханическом регулировании, осуществляемом с помощью двух- или многоскоростных короткозамкнутых асинхронных двигателей.

Ступенчатое электромеханическое регулирование скорости подач может быть выполнено и от двигателя постоянного тока при изменении его тока возбуждения.

Бесступенчатое регулирование скорости подачи осуществляется с помощью электромагнитной муфты скольжения, соединяющей асинхронный двигатель с механизмом подачи.

Для крупных универсальных станков требуется широкий диапазон регулирования подачи. Например, на горизонтально-расточном станке

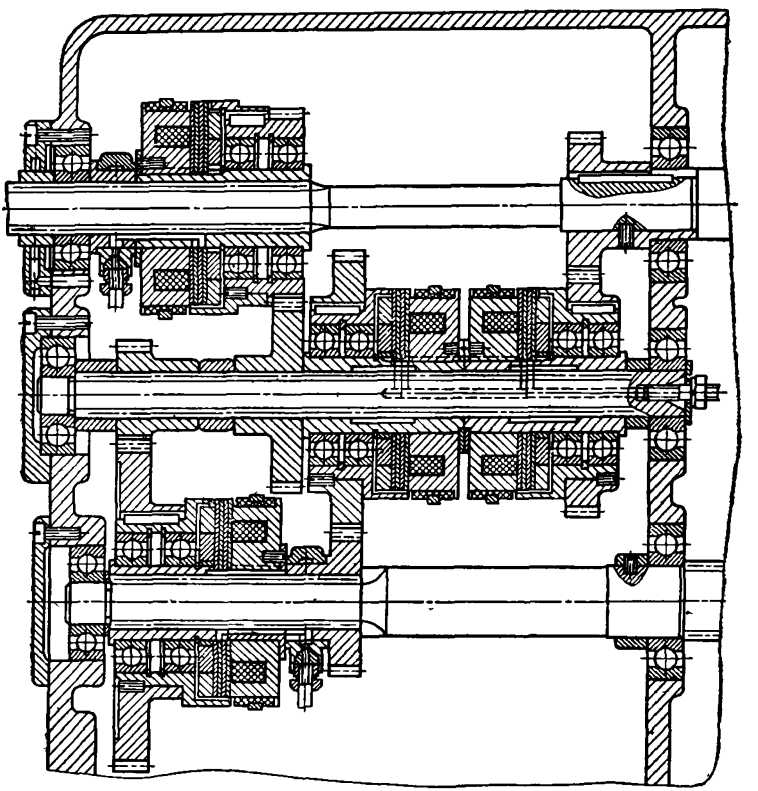


Рис. 10. Коробка скоростей токарного станка переключением зубчатых колес с помощью электромагнитных муфт

минимальная подача составляет 2 мм/мин, а максимальная — 750 мм/мин. На Ленинградском станкостроительном объединении им. Я. М. Свердлова для расточных станков с целью расширения диапазона регулирования частоты вращения ротора двигателя используют двухкаскадный электронный усилитель. Применение тиристорных преобразователей позволяет создать надежную систему электропривода с высоким быстродействием. Тиристорные электроприводы выпускают для главных механизмов станков и для механизмов подач.

Автоматический регулируемый электропривод переменного тока работает от многоскоростного электродвигателя и находит применение для токарных станков небольшой и средней мощности. Автоматическое регулирование частоты вращения привода при изменении диаметра обрабатываемой детали имеет существенное значение для карусельных, токарных и других станков, на которых обрабатывают детали больших диаметров. Автоматическое увеличение угловой скорости главного привода по мере уменьшения диаметра обрабатываемой детали для поддержания постоянной скорости резания значительно сокращает машинное время по сравнению с постоянной скоростью привода, а следовательно, повышает производительность станка и станочника. Для осуществления автоматического регулирования применяют электродвигатели переменного и постоянного тока.

Для токарных станков малой и средней мощности автоматически регулируемый электропривод работает от многоскоростного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя. Преимущество данного электропривода — использование электродвигателя переменного тока и получение примерно такого же диапазона регулирования, как и в приводе постоянного тока, регулируемом при постоянном напряжении на якоре уменьшением тока возбуждения. Регулирование частоты вращения производится при постоянной мощности, что согласуется с условиями обработки. Недостаток данной системы — ступенчатое регулирование частоты вращения и неплавный переход с одной частоты вращения на другую.

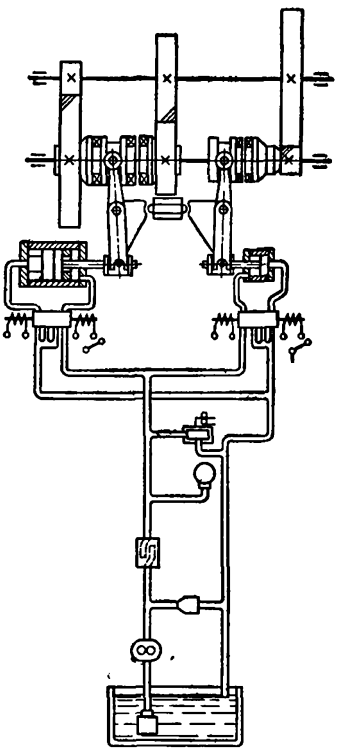


Рис. 11. Коробка скоростей с переключением зубчатых муфт гидроцилиндрами

Для крупных станков, например карусельных, целесообразно обеспечивать плавное регулирование частоты вращения при большом диапазоне регулирования, достигаемое использованием двигателя независимого возбуждения, регулируемого изменением тока возбуждения.

Регулирование частот вращения можно осуществлять бесступенчатыми приводами. Они позволяют плавно и непрерывно изменять частоту вращения. В металлорежущих станках бесступенчатые приводы плавно меняют частоту вращения шпинделя или подачи. Они позволяют обрабатывать различные детали при наивыгоднейших скоростях резания и подач. Они меняют скорость главного движения или подачи во время работы станка без его остановки.

В некоторых станках, как универсальных, так и специальных малых и средних размеров, бесступенчатое регулирование осуществляется с механическими вариаторами. В большинстве случаев механические вариаторы являются фрикционными.

В лобовом вариаторе (рис. 12, *а*) при перемещении малого ведущего ролика *1* относительно диска *2* изменяется рабочий радиус последнего

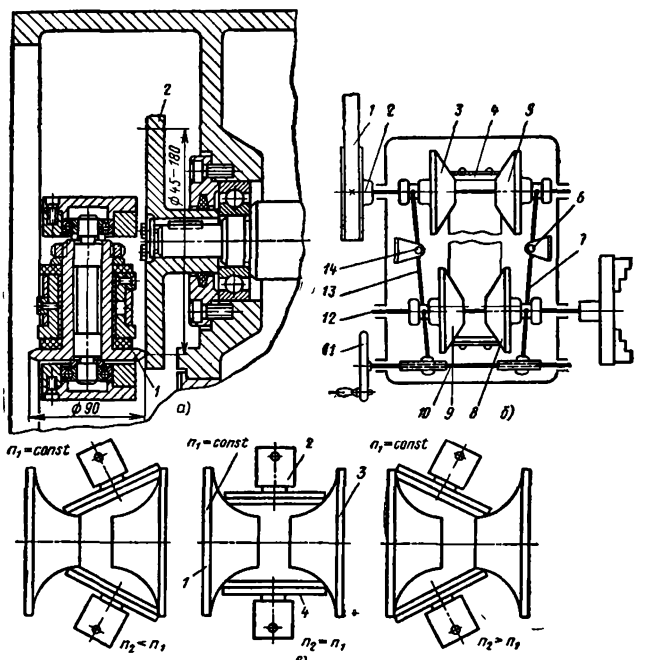


Рис. 12. Механические вариаторы

и, следовательно, передаточное отношение между ведущими и ведомыми валами.

На рис. 12, *б* показан вариатор с раздвижными конусными дисками. От шкива *1* на валу *2* расположены два ведущих диска *3* и *5*, а на валу *12* — два ведомых диска *8* и *9*. Передача между валами осуществляется клиновидным ремнем *4*. Для изменения частоты вращения вала рычагами *7* и *13*, поворачивающимися вокруг осей *6*, *14*, сближаются или раздвигаются диски на валу *2* и соответственно на валу *12*. Рычаги *7*, *13* поворачиваются маховиком *11* через винт *10* с правой и левой резьбой.

Фрикционный вариатор системы ЦНИИТМАШа (рис. 12, *в*) применяют для привода главного движения в токарном станке. Передаточное отношение вариатора изменяется наклоном роликов *2* и *4*, при повороте которых изменяются радиусы контакта роликов с ведущим *1* и ведомым *3* фрикционными дисками. Основной характеристикой ва-

риатора является диапазон регулирования частоты вращения, т, е. отношение наибольшего передаточного числа к наименьшему (обычно 3—6, реже 10—12).

Во многих металлорежущих станках применяют гидравлический бесступенчатый привод (рис. 13). Из бака *1* масло с помощью шестеренного насоса *2* через кран управления *4*, регулятор скорости *5* и золотник *6* поступает в правую полость *7* рабочего цилиндра; поршень *8*, двигаясь под давлением масла влево, штоком *9* перемещает стол *11* станка. Из левой полости цилиндра масло через золотник *6* поступает обратно в бак. В конце хода стола упор *10* перемещает рычагом *13* золотник *6* в левое положение, показанное штрих-пунктиром, масло поступает в левую полость цилиндра, и поршень со столом *11* перемещаются вправо, пока упор *12* рычагом *13* передвинет золотник *6* в правое положение. При значительном повышении давления и излишнем количестве масло сливается через предохранительный клапан *3*. Регулятором *5* можно устанавливать любую скорость перемещения стола. Этот привод прост и удобен в управлении, реверсирование происходит без толчков и ударов. Регулирование скорости перемещения поршня гидроцилиндра осуществляют изменением либо подачи насоса, либо гидравлического сопротивления напорного или сливного трубопровода.

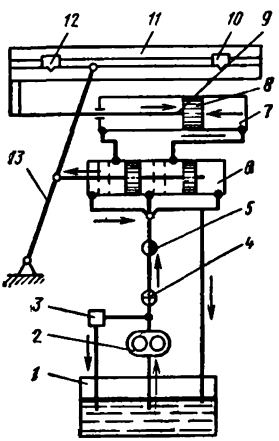


Рис. 13. Схема гидравлического бесступенчатого привода

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДЕЛЕНИЕ

В металлорежущих станках автоматическое деление наиболее часто встречается на сверлильных, фрезерных станках, на многошпиндельных станках при угловом и линейном делении. Угловое деление заключается обычно в повороте поворотной части стола, а линейное деление — в поступательном перемещении стола или приспособления на установленную величину. Как правило, оба деления осуществляются прерывисто с требуемой точностью и скоростью. Угловое деление может осуществляться с помощью делительных дисков, плоских и барабанных кулачков с приводом от стола станка, индивидуального электродвигателя, гидро- и пневмопривода и др. На рис. 14 показан автоматический поворотный стол с приводом от индивидуального электродвигателя для одновременной многошпиндельной обработки нескольких деталей на вертикально-сверлильном станке. Стол обеспечивает автоматическое деление окружности на две—шесть частей с помощью пары сменных зубчатых колес *11*. Поворот планшайбы стола осуществляется электродвигателем *3*, включение которого производится либо нажатием пусковой кнопки, либо конечным переключателем, управляемым от шпинделя станка. От двигателя движение передается через пару зубчатых колес *4* и червячную передачу *9*. С червячным колесом жестко связан диск с пальцами *12*, которые вращают мальтийский крест *10*, переда-

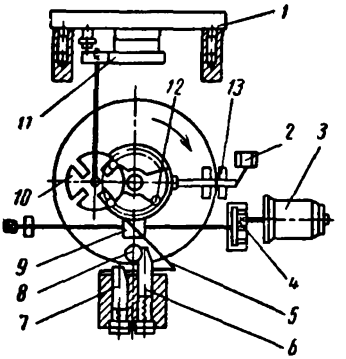


Рис. 14. Поворотный стол с автоматическим делением от электродвигателя

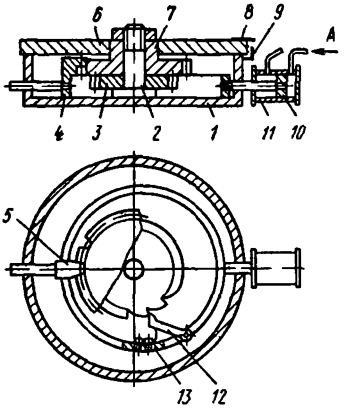


Рис. 15. Схема автоматического поворотного стола с пневматическим приводом

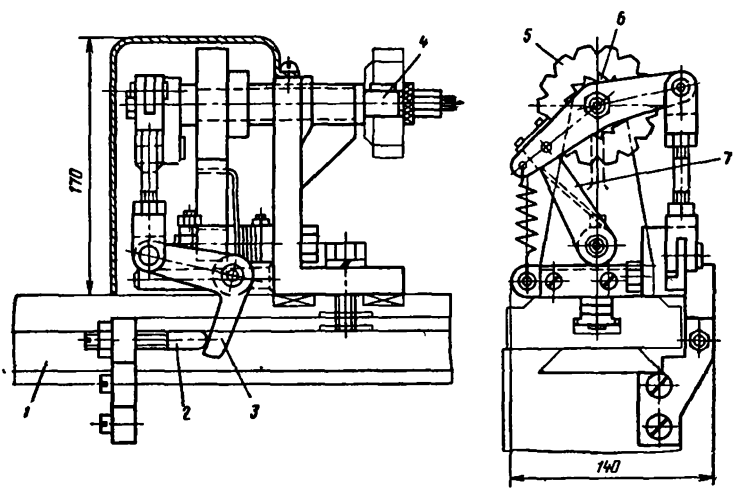


Рис. 16. Автоматическое делительное приспособление фрезерного станка

ющий периодическое вращение через сменные зубчатые колеса планшайбе *1* с обрабатываемыми деталями. В начале вращения диск через рычажную систему *5* утапливает фиксатор *7* и обеспечивает возможность поворота планшайбы *1*. В конце поворота мальтийского креста палец *8* нажимает на упор *6* и проходит мимо него, после чего под действием пружины упор *6* возвращается в исходное положение. В этот момент палец *12* выходит из паза мальтийского креста *10*, а продолжающий вращаться диск освобождает фиксатор *7*, который под действием

пружины прижимает палец *8* к упору *6*, фиксируя положение планшайбы. Одновременно конечный переключатель *2*, управляемый кулачком *13*, выключает электродвигатель *3*. Автоматизация поворота и фиксация планшайбы стола может осуществляться с помощью пневмопривода. На рис. 15 показана схема стола с автоматическим делением от пневмопривода. В корпусе *1* закреплена ось *2*, на которой вращаются храповик *3* с делительным диском *7*, числа зубьев и делительных пазов которых равны и соответствуют числу позиций стола. Внутри корпуса *1* стола перемещается кольцо *4*, связанное со штоком пневматического цилиндра *11*. На кольце *4* закреплены собачка *12*, поджатая пружиной *13*, и фиксатор *5*. Управление цилиндром *11* осуществляется от распределительного крана, сблокированного с механизмом перемещения шпинделя станка. При подаче воздуха по стрелке *А* поршень *10* перемещает кольцо *4* влево и выводит фиксатор *5*. При дальнейшем движении кольца влево собачка *12*, захватив зуб храповика *3*, поворачивает планшайбу *6*, закрепленную с делительным диском *7*. После этого распределительный кран переключает направление подачи воздуха, и фиксатор *5*, заскакивая в очередной паз диска *7*, фиксирует положение планшайбы *6*. На рис. 16 показано автоматическое делительное приспособление, с помощью которого обрабатываются пазы в крупной заготовке, установленной на оправке *4* на горизонтально-фрезерном станке. Поворот заготовки происходит при обратном ходе стола *1* пальцем *2* в момент, когда рычаг *3* храпового механизма *6* поворачивается на неподвижном основании стола. На оправке *4* установлен делительный диск *5* с пружинным рычагом-фиксатором *7* и храповой механизм *6*, осуществляющий ее поворот. Точность деления $\pm 10'$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Барун В. А., Будинский А. А.** Автоматическое управление металлорежущими станками М., «Машиностроение», 1964, 344 с

2 **Брон Л. С., Тартаковский Ж. Э.** Гидравлический привод агрегатных станков и автоматических линий М., «Машиностроение», 1974 328 с

3 **Сандлер А. С.** Электропривод и автоматизация металлорежущих станков М., «Высшая школа», 1972 440 с

4 **Харизоменов И. В.** Электрооборудование и электроавтоматика металлорежущих станков. М., «Машиностроение», 1975. 264 с.

Глава 8

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТА

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Автоматизация технологического транспорта позволяет сократить цикл обработки заготовок на 30—50%. Сущность автоматизации технологического транспорта заключается в перемещении заготовок в ориентированном положении к обрабатывающему оборудованию.

Для автоматического перемещения изделий (заготовок) применяют три способа: самотечный (гравитационный) — под действием силы тяжести изделий; полусамотечный — под действием силы тяжести изделий с применением средств, уменьшающих силы трения и другие сопротивления в пределе до нуля; принудительный — под действием внешних движущих сил.

Самотечный способ самый дешевый и простой, так как не требует сложных сооружений и приводных устройств. Полусамотечный способ дороже в 1,5—2 раза самотечного и сложнее, так как для его осуществления требуются сжатый воздух или маломощные приводные устройства. Эксплуатационные расходы выше в 5—6 раз. Принудительный способ дороже самотечного в 5—12 раз, требует сложных сооружений и сравнительно мощных приводов. Эксплуатационные расходы в 5—10 раз выше, чем у самотечного (в зависимости от применяемой энергии).

САМОТЕЧНЫЙ СПОСОБ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

Транспортирование самотечным способом осуществляется различными транспортными лотками, выполняющими направляющую (ориентирующую) и несущую функции. Перемещение изделий (заготовок) ограничено сверху вниз и производится в наклонных и вертикальных лотках скольжением, качением и перекатыванием на роликах. Поэтому все средства самотечного способа транспортирования имеют перепад по высоте между точками начала и конца перемещения. Предельные скорости самотечного транспортирования изделий в лотках (допустимые скорости соударений) даны в табл. 1. Они ограничиваются из-за перемещения с естественным ускорением. Формулы конечных скоростей качения изделий основных форм представлены в табл. 2.

Спуски. Для вертикального транспортирования применяют разнообразные спуски, в которых изделия под действием силы тяжести перемещаются сверху вниз по лоткам различных формы и сечений (рис. 1).

В змейковых спусках для цилиндрических изделий (рис. 1, *а*) лоток образован волнистыми стенками, смещенными на полшага волны с тем, чтобы движение замедлялось за счет последователь-

1. Предельные скорости (м/с) самотечного транспортирования штучных изделий в лотках (допустимые скорости соударений)

Материал	Масса, кг	Скольжение			Качение		Скатывание на роликах	
		заготовки	полуфабриката	изделия	полуфабриката	изделия	полуфабриката	изделия
Чугун серый, бронза	0,1	1,55	1,2	0,85	1	0,65	1,2	0,85
	0,2	1,4	1,1	0,75	0,85	0,6	1,1	0,75
	0,5	1,1	0,85	0,6	0,7	0,5	0,85	0,6
	1	0,8	0,6	0,5	0,55	0,35	0,6	0,50
	2	0,55	0,4	0,35	0,35	0,25	0,4	0,35
	4	0,4	0,3	0,25	0,25	0,15	0,3	0,25
Латунь, сталь незакаленная	0,2	1,75	1,3	0,85	1,2	0,85	1,3	1
	0,5	1,55	1,15	0,75	1,1	0,75	1,15	0,85
	1	1,3	0,95	0,6	0,85	0,6	0,95	0,7
	2	0,9	0,7	0,5	0,6	0,5	0,7	0,55
	4	0,65	0,5	0,35	0,4	0,35	0,5	0,35
	8	0,45	0,35	0,25	0,3	0,25	0,35	0,25
Сталь закаленная	0,3	1,9	1,5	1,2	1,3	1	1,5	1,2
	0,7	1,75	1,4	1,1	1,15	0,85	1,4	1,1
	1,5	1,5	1,25	0,85	0,95	0,7	1,25	0,85
	3	1,2	1,1	0,6	0,7	0,55	1	0,6
	6	0,9	0,7	0,4	0,5	0,35	0,7	0,4
	12	0,6	0,4	0,3	0,35	0,25	0,4	0,3
Медь, алюминий	0,1	1,3	1	0,75	0,85	0,6	1	0,65
	0,2	1,15	0,85	0,6	0,75	0,5	0,85	0,55
	0,5	0,95	0,7	0,5	0,6	0,45	0,7	0,5
	1	0,7	0,55	0,35	0,4	0,3	0,55	0,35
	2	0,5	0,35	0,25	0,35	0,2	0,35	0,25
	4	0,35	0,25	0,15	0,25	0,15	0,25	0,15

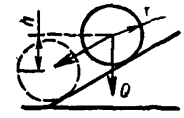
ного перехода изделия от волны к волне, а также ориентировалось по длине.

Ступенчатые спуски (рис. 1, *б*) такого же назначения, если изделия должны спускаться не строго вертикально.

В каскадных спусках (рис. 1, *в*) стенки снабжены полками, смещенными относительно друг друга примерно на полшага. В таких лотках изделие спускается под действием силы тяжести, последовательно переходя с полки на полку; тем самым замедляется скорость спуска и сохраняется ориентация по длине.

В цепных спусках (рис. 1, *г*) на свободно вращающихся колесах имеется цепь (лента) с полками или гнездами, в которые закладываются изделия. Последние силой тяжести приводят цепь в движение и опускаются. В цепных спусках скорость перемещения определяют с учетом сопротивлений в цепной передаче. Практически может быть получена любая скорость путем применения различных тормозящих или регулирующих устройств (регуляторов).

2. Параметры и конечные скорости качения изделий основных форм

Параметры			
	Форма изделия		
	Шар	Цилиндр	Кольцо
Момент инерции J	$\frac{Qr^2}{g}$	$\frac{0{,}5Qr^2}{g}$	$\frac{Qr^2}{g}$
Окружное усилие P	$^2/_7\ Q \sin\gamma$	$^1/_2\ Q \sin\gamma$	$^1/_2\ Q \sin\gamma$
Ускорение a	$^5/_7\ Q \sin\gamma$	$^2/_3\ Q \sin\gamma$	$^1/_2\ Q \sin\gamma$
Конечная скорость v с учетом, момента инерции	$0{,}845\sqrt{gh}$	$0{,}816\sqrt{gh}$	$0{,}707\sqrt{gh}$
коэффициента k трения качения	$0{,}845\sqrt{2gh\left(1-\operatorname{ctg}\gamma\,\frac{k}{r}\right)}$	$0{,}816\sqrt{2gh\left(1-\operatorname{ctg}\gamma\,\frac{k}{r}\right)}$	$0{,}707\sqrt{2gh\left(1-\operatorname{ctg}\gamma\,\frac{k}{r}\right)}$
коэффициента трения качения k и прикасания к стенкам	$\sqrt{gh\left(1-\operatorname{ctg}\gamma\,\frac{k}{r}\right)}$	$\sqrt{0{,}72gh\left(1-\operatorname{ctg}\gamma\,\frac{k}{r}\right)}$	$\sqrt{0{,}32gh\left(1-\operatorname{ctg}\gamma\,\frac{k}{r}\right)}$
Коэффициент трения f при чистом качении (без скольжения)	$> \frac{5k}{7r}$	$> \frac{2k}{3r}$	$> \frac{k}{2r}$

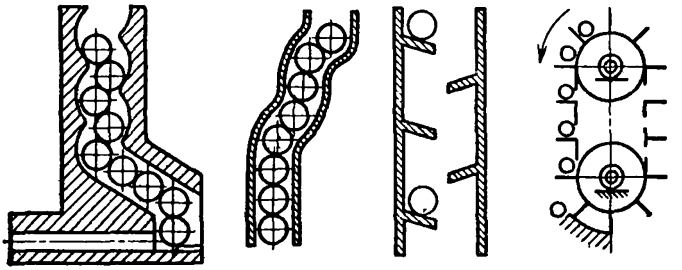


Рис. 1. Спуски

Во всех спусках, где изделие меняет направление движения в местах поворота, скорость спуска снижается:

Угол поворота, °	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Потеря скорости, %	1,5	6	13,4	23,4	35,7	50	65,8	82,6	100

3. Конечные скорости падения изделий в прямых спусках для вертикального транспортирования

h	v		h	v		h	v	
0,001	0,14	0,0143	0,055	1,034	0,105	1	4,43	0,452
0,002	0,198	0,0202	0,06	1,08	0,11	2	6,26	0,63
0,003	0,242	0,0247	0,065	1,12	0,114	3	7,67	0,77
0,004	0,28	0,0287	0,07	1,17	0,119	4	8,86	0,89
0,005	0,313	0,033	0,075	1,21	0,123	5	9,9	1
0,006	0,343	0,035	0,08	1,25	0,127	6	10,85	1,1
0,007	0,37	0,0377	0,085	1,29	0,131	7	11,72	1,2
0,008	0,4	0,0417	0,09	1,33	0,135	8	12,53	1,3
0,009	0,42	0,044	0,095	1,36	0,138	9	13,29	1,35
0,01	0,443	0,0462	0,1	1,4	0,144	10	14,01	1,4
0,015	0,538	0,0547	0,2	1,97	0,2	11	14,69	1,45
0,02	0,624	0,0636	0,3	2,3	0,234	12	15,34	1,56
0,025	0,7	0,0714	0,4	2,8	0,285	13	15,97	1,6
0,03	0,764	0,0779	0,5	3,18	0,324	14	16,57	1,7
0,035	0,825	0,0841	0,6	3,43	0,35	15	17,16	1,75
0,04	0,885	0,09	0,7	3,74	0,38	16	17,72	1,8
0,045	0,939	0,0958	0,8	3,9	0,398	17	18,26	1,85
0,05	0,99	0,1	0,9	4,15	0,423	18	18,79	1,9
						19	19,31	1,95
						20	19,81	2,02

Примечания: 1. Размерности: h, м, v, м/с; t, с; $v = \sqrt{2 \cdot 9{,}8h}$; $t = \frac{v}{9{,}8}$

2. Конечные скорости v свободного падения изделий массой от 0,1 до 12 кг на высоту h за время t даны без учета сопротивления воздуха (изделия массой от 0,1 г и ниже подвержены влиянию сопротивления воздуха).

Потеря скорости, выраженная в процентах от первоначальной скорости $\Delta v = 100\frac{v - v_0}{v} = 100(1 - \cos\alpha)$, где α — угол поворота.

Прямые спуски в лотках, установленных под углом 90° к горизонтальной поверхности, применяют для вертикального транспортирования на очень короткое расстояние, так как при свободном падении изделия развивают недопустимо большую конечную скорость независимо от массы. В табл. 3 приведены конечные скорости, соответствующие высотам h вертикального свободного падения изделий, в метрах, где $v = \sqrt{2gh}$ ($g = 9{,}81$ м/с^2).

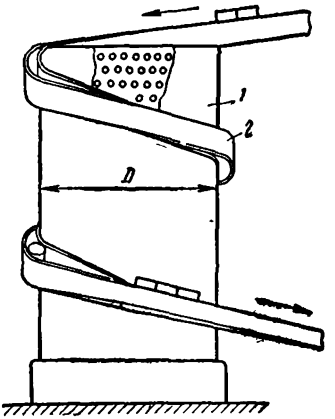


Рис. 2. Винтовой спуск

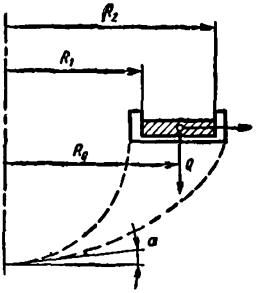
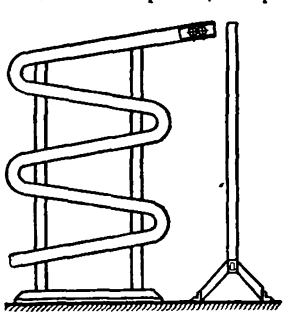


Рис. 3. Схема винтового лотка

Винтовые спуски наиболее универсальные; они пригодны для вертикального перемещения различных изделий с приемлемыми скоростями скольжения, качением и скатыванием. На рис. 2 показан винтовой спуск. На корпусе *1* из перфорированной стали смонтированы лотки *2*, для крепления которых использованы отверстия в корпусе. Лотки могут быть снабжены роликами, посаженными на оси и скрепляющими боковины. Радиусы R_1 и R_2 винтовых лотков (рис. 3) и спусков необходимо выбирать так, чтобы их отношение $k = R_1/R_2$ было близким к единице, например 0,9. В противном случае движение изделия не будет стабильным.


Рис. 4. Зигзагообразный спуск

При заданном k и ширине b лотка $R_1 = \frac{kb}{1-k}$ и $R_2 = b + \frac{kb}{1-k}$. При точных расчетах следует учитывать влияние силы трения о боковую наружную стенку лотка, возникающей от центробежной силы. Чтобы изделие перемещалось с постоянной скоростью v, должно быть соблюдено равенство $Q\sin\alpha = Qf\cos\alpha + f\frac{Qv^2}{gR_c}$, где Q — масса изделия;

α — угол наклона; f — коэффициент трения; R_c — средний радиус. Следовательно, $v = \sqrt{gR_c \dfrac{\sin\alpha - f\cos\alpha}{f}}$. Как видно, для выполнения поставленного условия необходимо, чтобы

$$\frac{\sin\alpha - f\cos\alpha}{f} = \text{const} = \frac{v^2}{gR_c}.$$

Зигзагообразные спуски (рис. 4) применяют преимущественно для катучих изделий. Зигзагообразные и винтовые спуски часто используют в качестве начальных межоперационных и конечных накопителей в различных транспортных системах. В этом случае спуски снабжают специальными подъемниками, доставляющими изделия заготовки вверх. Высота спусков 6 м и более. Диаметр винтовых спусков выбирают в зависимости от размеров изделий и угла наклона винтовых лотков. Последний определяют по заданной скорости спуска.

ПОЛУСАМОТЕЧНЫЙ СПОСОБ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

Транспортирование полусамотечным способом осуществляют в специальных наклонных лотках, устанавливаемых под углом к горизонту, значительно меньшим угла трения (0,5—3°), и только скольжением. Перемещение изделий достигается под действием их силы тяжести вследствие уменьшения силы трения между поверхностями скольжения путем поперечного движения *опорной поверхности* (механические полусамотечные лотки), а также путем создания воздушной прослойки между поверхностями (пневматические полусамотечные лотки).

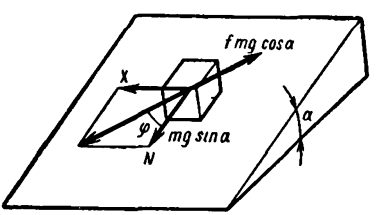


Рис. 5. Схема движения изделия на полусамотечном лотке

В механических полусамотечных конвейерах в качестве поперечно движущейся плоской поверхности используют главным образом поверхности вращающихся валиков, ленты, а также поперечно вибрирующие несущие поверхности и т. п. (см. гл. 9).

Принцип работы механических полусамотечных лотков следующий. Если изделие находится на плоской поверхности (рис. 5), расположенной к горизонтальной поверхности под углом α, меньшим угла трения ρ, то слагающая силы тяжести не сдвинет изделие, так как в этом случае сила трения значительно больше слагающей силы тяжести. Стоит только приложить силу X, направленную перпендикулярно к плоской поверхности, как изделие начнет скользить с плоской поверхности. Это произойдет, когда равнодействующая сил X и $mg\sin\alpha$ станет равна силе трения, т. е. когда будут соблюдены равенства $X^2 + (mg\sin\alpha)^2 = (fmg\cos\alpha)^2$; $X = fmg$ при малом α, т. е. сила трения как бы переносится в направлении, перпендикулярном к направлению наклонной плоской поверхности.

Если на горизонтальной поверхности лежит изделие, к которому приложена сила N, недостаточная для преодоления силы трения $fmg\cos\alpha$,

то в случае приложения к нему силы X, перпендикулярной к N, изделие будет двигаться под углом φ к вектору N, причем $N = fmg \cos \varphi$.

Очевидно, что X и N прямо пропорциональны друг другу. При полусамотечном способе транспортирования во время движения и останове изделия подвергаются изнашиванию от движущейся опорной поверхности, которая также изнашивается.

Описанные конвейеры применяют для сравнительно легких изделий массой до 0,5 кг, которые надо перемещать со скоростью 0—0,1 м/с. Скорость v' поперечного скольжения определяют в зависимости от необходимой скорости v перемещения изделий вдоль валков, установленных под углом α к горизонтальной поверхности и коэффициента трения скольжения f: $v' = \frac{fv}{\operatorname{tg} \alpha}$.

Пневматические полусамотечные конвейеры применяют для транспортирования изделий на воздушной прослойке. При транспортировании изделий в конвейер пускается воздух под давлением 0,1—0,2 кгс/см^2. Между поверхностью скольжения и деталями образуется воздушная прослойка толщиной 0,01—0,02 мм, по которой изделия скользят вниз.

ПРИНУДИТЕЛЬНЫЙ СПОСОБ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

Непрерывное принудительное транспортирование осуществляется различными приводными конвейерами. В них изделия (заготовки) перемещаются на несущей поверхности сплошным потоком к месту потребления до упора с дожатием.

Ленточные конвейеры (рис. 6) применяют для относительно легких изделий, допускающих износ поверхности, так

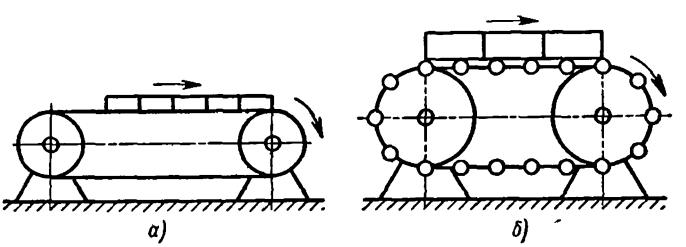


Рис. 6. Ленточные конвейеры

как лента (рис. 6, *а*) или цепь (рис. 6, *б*) постоянно проскальзывают под изделиями.

Ролико-цепные конвейеры (рис. 7) состоят из ориентирующего и направляющего органов в виде ряда роликов, встроенных в цепь. Ролики делают с угловым ободом. На рис. 7, *а* показан участок цепи *1* с встроенными роликами *2*. Ролики свободно вращаются на осях и, кроме того, катятся по рельсу *3*, сделанному из угловой стали. Конвейеры применяют, когда при небольшой скорости цепи необходимо получить удвоенную скорость перемещения изделия. Скорость перемещения изделий (м/с) при любом диаметре ролика D (м) $v_0 = 2v\mu$,

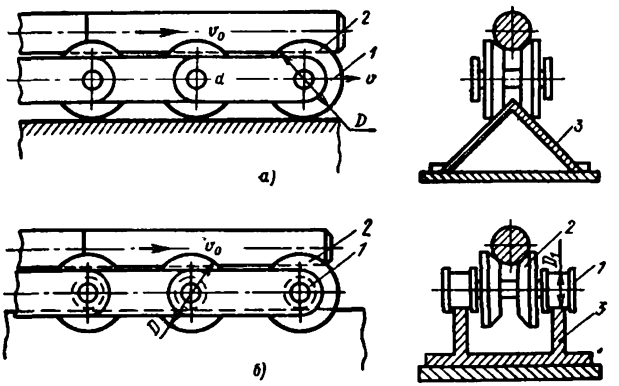


Рис. 7. Ролико-цепные конвейеры:

а — со свободно вращающимися катящимися роликами, *б* — со свободно вращающимися роликами

где v — скорость цепи, м/с; $\mu = 0{,}95 \div 0{,}98$ коэффициент проскальзывания роликов.

Если необходимо, чтобы изделия время от времени останавливались и чтобы их поверхность не повреждалась от проскальзывания по роликам движущейся цепи, применяют одну или две цепи *1*, между которыми заключены свободно вращающиеся ролики *2* (рис. 7, *б*). Цепь при этом направляется и движется по рельсам *3*. При задержке движения изделий цепь продолжает двигаться, а ролики вращаются благодаря сцеплению с поверхностью изделий. Такие конвейеры применяют для перемещения изделий вдоль оси (валы и т. п.).

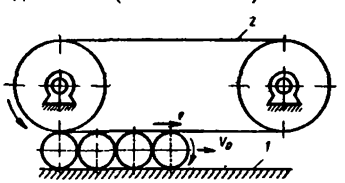


Рис. 8. Прокатный конвейер одноленточный

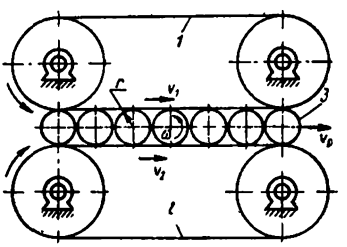


Рис. 9. Прокатный конвейер двухленточный

Прокатные конвейеры перемещают изделия прокатыванием. Их применяют для межоперационного перемещения поршней, втулок и т. д. на торце и на их образующей. Одноленточный прокатный конвейер (рис. 8) состоит из планок *1* и приводного ремня *2*. Изделия, попадающие между планками и рабочей ветвью ремня, прокатываются между ними, одновременно совершая поступательное движение. Очевидно, если скорость движения рабочей ветви будет v, то скорость

поступательного движения изделия $v_0 = 0{,}5v\mu$, где $\mu = 0{,}93 \div 0{,}95$ при перемещении изделий на образующих; $\mu = 0{,}85 \div 0{,}88$ при перемещении на торцах. Прокатные конвейеры применяют в тех случаях, когда изделия при перемещении их на торце или образующей не должны соприкасаться друг с другом. Аналогичные прокатные конвейеры применяют для перемещения изделий с помощью двух лент (рис. 9). Если изделия *3* должны захватываться лентами *1*, *2* и перемещаться со скоростью v_0, равной скорости лент v_1, v_2, то привод делается общий.

Если изделия должны захватываться лентами и перемещаться с меняющейся скоростью или задерживаться, то привод каждой ленты делают самостоятельным, причем один из них — с вариатором скоростей и с устройством для перемены направления движения. В таком случае, если ленты *1* и *2* движутся в одну сторону и с одинаковой скоростью, то изделия *3* перемещаются со скоростью, равной скорости

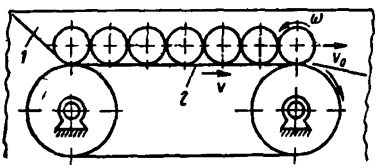


Рис. 10. Одноленточный конвейер качения

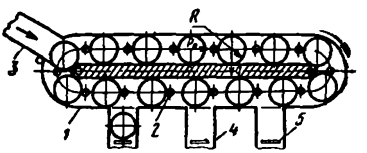


Рис. 11. Конвейер-распределитель

лент. Если одна из лент неподвижна, то скорость перемещения изделия будет равна половине скорости движения ленты, т. е. конвейер будет работать как одноленточный. Регулируя скорость перемещения ленты, можно получить различные скорости перемещения изделий.

Если одна из лент движется в противоположную сторону со скоростью, равной скорости другой ленты, то изделия будут вращаться на месте Поступательная скорость при этом будет равна нулю. Обозначим v_1 — скорость первой ленты; v_2 — скорость второй ленты; R — радиус изделия; ω — угловая скорость изделия; v_0 — скорость центра изделия. Угловая скорость изделия при одинаковом направлении движения лент, но разных скоростях ($v_2 < v_1$), $\omega = \frac{v_1 + v_2}{2R}$; скорость центра изделия $v_0 = \frac{v_1 + v_2}{2}$.

Угловая скорость изделия при разном направлении движения лент и разных скоростях ($v_2 < v_1$) $\omega = -\frac{v_1 + v_2}{2R}$; скорость центра изделия $v_0 = \frac{v_1 - v_2}{2}$. Коэффициент проскальзывания для обоих случаев $\mu = 0{,}95 \div 0{,}98$.

Двухленточные конвейеры находят широкое применение для перемещения относительно легких предметов, например консервных банок. При этом форма трассы обеих лент может быть различной.

Одноленточные конвейеры качения (рис. 10) используют как отводящие для обработанных изделий. Каждый такой конвейер принимает изделия из нескольких пунктов, отводит их и при необходимости накапливает на всей рабочей поверхности.

Конвейер состоит из лотка *1* и пластинчатой цепи *2*. Катучие изделия перемещаются благодаря прокатыванию относительно цепи и боковых стенок лотка посредством трения. Поэтому перемещение изделий возможно в горизонтальном конвейере или в конвейере с наклоном не более 5—6°.

Так как изделия в процессе транспортирования контактируют с пластинами цепи и боковыми стенками лотка, то скорость перемещения определяют из условия прямого поступательного движения и обратного вращательного с учетом коэффициента проскальзывания; $v_0 = \frac{v_1 \mu}{2}$, где v_1 — скорость цепи; $\mu = 0{,}9 \div 0{,}92$ — коэффициент проскальзывания.

Конвейер-распределитель (рис. 11) служит для распределения катучих изделий в несколько параллельно действующих станков. Одновременно распределитель служит емкостью, в которой сосредоточивается некоторый запас изделий. С помощью распределителя можно осуществить загрузку с одного места десяти станков и более, превращая ряд параллельно работающих станков в автоматическую группу.

4. Допустимые и рекомендуемые скорости (мм/с) перемещения изделий в распределителе

Диаметр изделия, мм	Скорость	
	допустимая	рекомендуемая
25	250	125
50	354	175
75	433	215
100	500	250
150	612	300

Конвейер-распределитель состоит из корпуса *1*, внутри которого имеется полость по форме изделий. По концам корпуса смонтированы натяжная и приводная звездочки, через которые переброшены цепи, соединенные перекладинами *2*. В корпусе имеется лоток *3* приема, через который закатываются изделия в пространство между перекладинами цепи. Снизу корпуса в каждой секции имеются лотки *4* выдачи, через которые изделия попадают в станки. Изделия, поступающие в лоток приема, захватываются между поперечными перекладинами цепи и перекатываются по беговой дорожке *4* верхней стороны корпуса, затем проходят закругленный участок и попадают на нижнюю сторону корпуса распределителя. Если в лотке выдачи нет изделий, то заслонка *5* не перекрывает беговую дорожку, поэтому вход в лоток *4* оказывается открытым, и изделие проваливается в него, отклоняет рычаг заслонки и тем самым перекрывает беговую дорожку, закрывая отверстие в лоток. При дальнейшем движении цепи в свободную ячейку западает изделие из лотка приема. Скорости v движения изделия в распределителе ограничены, так как изделие диаметром d может проваливаться через отверстие примерно того же диаметра, что и изделие, лишь при соизмеримой скорости цепи (табл. 4). Приблизительно $v \leqslant 50\sqrt{d}$.

Винтовые конвейеры применяют для перемещения изделий вразрядку.

Для транспортирования изделий с заостренными торцами вдоль оси применяется конвейер (рис. 12, *а*), состоящий из двух винтов, у которых выступы одного свободно входят во впадины другого. Рас-

стояние между витками выбирают такое, чтобы изделие помещалось с зазором 0,5—1 мм.

На рис. 12, *б* показан конвейер для перемещения стержневых изделий поперек оси. Левый и правый винты вращаются синхронно. Витки расположены так, чтобы изделие между ними лежало без перекоса. Диаметры винтов, заходность и шаг резьбы вибирают в зависимости от размеров изделий и необходимой скорости перемещения.

Аналогичные конвейеры применяют для изделий в форме шара (рис. 12, *в*). На них можно перемещать изделия с буртом и конические.

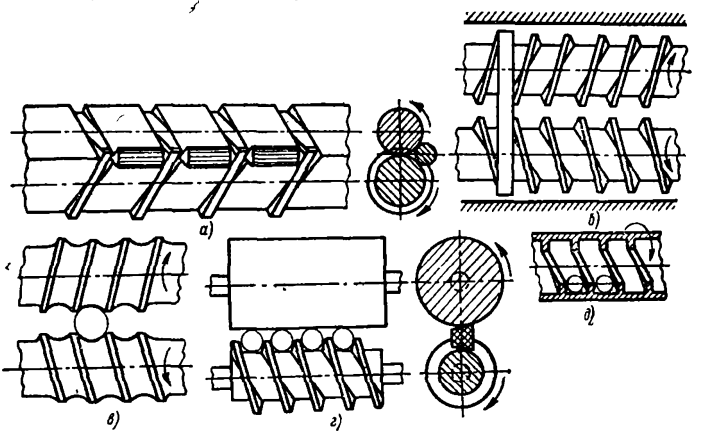


Рис. 12. Винтовые конвейеры для точного транспортирования штучных изделий:

а — игл; *б* — валиков; *в* — шариков; *г* — роликов; *д* — трубчато-винтовые

Для перемещения конических роликов применяют конвейер, состоящий из винта и гладкого валика (рис. 12, *г*). Для поштучного перемещения изделия и навалом применяют конвейеры трубчато-винтовые (рис. 12, *д*). В них витки образуются встроенной в трубу пружиной, навитой с необходимым шагом.

Ролико-приводные конвейеры (рис. 13) применяют для непосредственного межоперационного перемещения, загрузки и разгрузки самых разнообразных изделий или перемещения на поддонах—транспортных спутниках. Перемещение изделий на приводных роликах происходит благодаря сцеплению с образующими роликов, поэтому последние могут подавать изделия с подпором к одному месту. Изделия в этом случае проскальзывают на роликах. Это свойство часто используют при автоматической загрузке и разгрузке, когда необходимо, чтобы изделия сосредоточивались всегда в одном месте. Роликовые приводные конвейеры делаются с общим, групповым и индивидуальным приводом. Размеры и форма приводных роликов те же, что и у неприводных (зависят от формы изделий).

В роликовом конвейере с приводом от цилиндрических зубчатых колес (рис. 13, *а*) ролики *1*, свободно вращающиеся на осях *2*, снабжены зубчатыми колесами *3*, которые сцеплены с холостыми (паразитными)

колесами *4* для того, чтобы все ролики вращались в одну сторону. Преимущество привода с зубчатыми колесами — возможность реверсирования.

В приводе роликового конвейера с помощью цепных колес (рис. 13, *б*) на каждом ролике имеется цепное зубчатое колесо, через которое переброшена замкнутая втулочно-роликовая цепь. Вместо общей цепи для всех роликов применяют ряд коротких цепей, соединяющих последовательно по два соседних ролика.

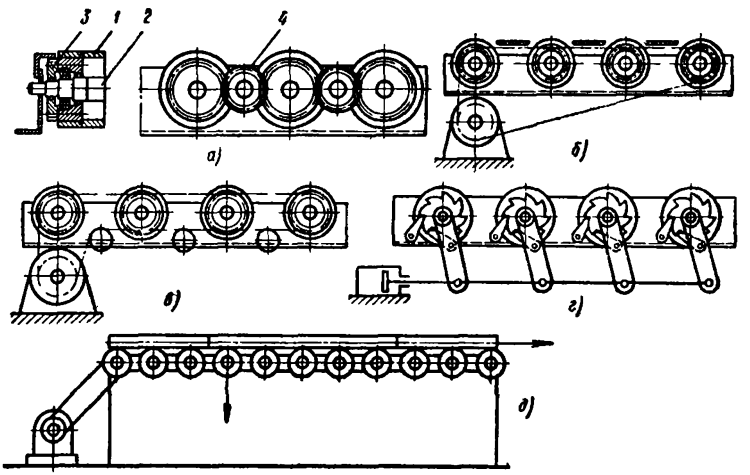


Рис. 13. Ролико-приводные конвейеры с различными приводами роликов

При большом пути транспортирования длинных изделий масса, стоимость и износ цепей делают применение конвейеров с цепной тягой невыгодным. В этом случае применяют роликовые конвейеры с канатной тягой.

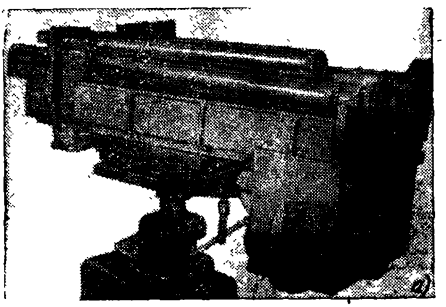
Для транспортирования легких изделий применяют привод (рис. 13, *в*) плоским или трапецеидальным ремнем. Каждый ролик снабжен шкивом или глубокой выемкой, чтобы ремень утопал ниже образующей ролика и не мешал перемещению изделий. Нижняя ветвь является ведущей, причем через два ролика ставят натяжные ролики.

В приводе роликовых транспортеров с помощью храпового механизма (рис. 13, *г*) ролики вращаются прерывисто. Все ролики снабжаются храповыми механизмами, рычаги их соединяются с общей штангой, которая приводится в возвратно-поступательное движение с помощью кривошипно-шатунного, кулисного, пневматического или гидравлического механизмов. Такой привод возможен в комбинации с цилиндрическими, коническими или цепными колесами. В этом случае храповой механизм ставится лишь в одном месте.

Роликовые приводные конвейеры можно применять для транспортирования изделий по горизонтальной и наклонной поверхностям. В последнем случае при транспортировании вверх необходимо учитывать, что угол подъема конвейера не должен превышать угол трения, т. е.

5—6°. При больших углах подъема изделия могут сползать вниз по наклонной. Если сверху изделия предусмотреть прижимные ролики, то практически таким способом можно перемещать изделия вверх под любым углом.

По роликам (рис. 13, *д*), имеющим обод угловой формы, могут перемещаться цилиндрические изделия под углом до 10—12°, так как при



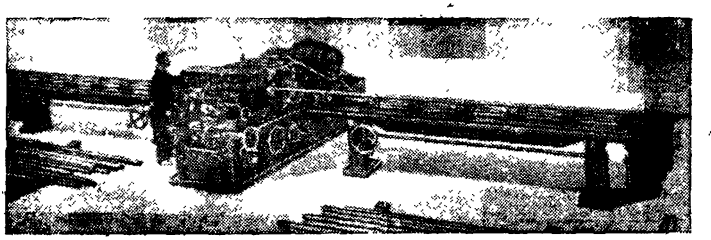


Рис. 14. Двухвалковые конвейеры:

а — для коротких изделий; *б* — для длинных изделий

этом коэффициент трения зависит от β: $f' = \frac{f}{\sin\beta + f\cos\beta}$, где β — половина угла при вершине обода.

Двухвалковые конвейеры (рис. 14) применяют для перемещения цилиндрических изделий типа колец, шарико- и роликоподшипников, поршней, втулок и т. п. (рис. 14, *а*) и изделий длиной 4—6 м (рис. 14, *б*) со скоростью 0,01—0,2 м/с.

Конвейеры сообщают изделию поступательное и вращательное движение, что важно при загрузке и разгрузке бесцентровошлифовальных станков. Если каждое изделие будет входить между кругами, не вращаясь, то в момент контакта с кругами у него сошлифуется определенный участок или изделие будет выброшено под действием внезапно приложенной нагрузки.

Двухвалковые конвейеры перемещают изделия с подпором, что важно для обеспечения непрерывности потока. Они позволяют задерживать изделия, не останавливая валков. В этом случае проскальзывание

происходит в направлении обработки изделий. Несущая поверхность валковых конвейеров — гладкие валки, вращающиеся в одну сторону. Встречаются четыре варианта валковых конвейеров, каждый в двух исполнениях (рис. 15): оба валка цилиндрические (рис. 15, *а*); один валок цилиндрический, а другой конический (рис. 15, *б*); оба валка конические, с углом конуса при вершине до 2° (рис. 15, *в*); один валок конический, а другой гиперболоидальный (рис. 15, *г*).

Конвейеры с цилиндрическими валками перемещают изделия неравномерно, между ними образуются разрывы. Для малоустойчивых изделий такие валки не применяют.

Конвейеры с цилиндрическим и коническим валками подают изделия по мере их подхода к концу валка меньшего диаметра с повышенным проскальзыванием, так как окружная скорость цилиндрического валка остается постоянной, а скорость конического валка переменная. При подходе к месту выдачи изделие более устойчиво, так как сильнее прижимается к валкам.



Рис. 15. Двухвалковые конвейеры

Конвейеры с коническими валками перемещают изделия вплотную друг к другу, а в обратном направлении — с отрывом друг от друга. Относительное проскальзывание изделий примерно одинаковое. Преимущество этих конвейеров — в конструктивной компактности благодаря небольшим диаметрам конических концов валков со стороны подвода в станки.

Поток изделий посередине длины валков рассмотренных комбинаций несколько возвышается потому, что изделия движутся по некоторой винтовой линии. Например, при длине валка 1450 мм, диаметре 80 мм и угле наклона 1°, возвышение будет равно 1 мм, что при толщине изделия 14,5 мм составит относительное смещение изделий в вертикальной плоскости 0,01 мм. Этого смещения можно избежать, применяя валки конический и гиперболоидальный.

Частоту вращения валков рассчитывают исходя из подачи s, среднего диаметра $d_{ср}$ валков и возможного угла их наклона γ по формуле

$$n_в = \frac{s}{\pi d_{ср} \operatorname{tg} \gamma \cdot \varphi}.$$

Потери на проскальзывание учитываются коэффициентом проскальзывания, равным 0,85—0,9. Диаметр цилиндрического валка берут равным среднему диаметру конического валка.

Пример. Определить частоту вращения конических валков конвейера, исходя из следующих условий: валки конические, длина $L = 1450$ мм, диаметры $D = 80$ мм и $d = 30$ мм, угол наклона $\gamma = 1°$ ($\operatorname{tg} \gamma = 0{,}017$), подача $s = 750$ мм/мин, коэффициент скольжения $\varphi = 0{,}8$. Частота вращения валков $n_в = \frac{750}{3{,}14 \cdot 55 \cdot 0{,}017 \cdot 0{,}8} = 320$ об/мин.

Пневматические конвейеры. Принудительное перемещение штучных изделий сжатым воздухом производится в открытых и закрытых пневматических конвейерах (рис. 16). В открытых конвейерах отверстия *2* (рис. 16, *а*) на несущей поверхности *1*, а иногда и на боковых направляющих стенках сверлят под углом. Выходящие струи сжатого воздуха образуют воздушную прослойку *s* и толкают изделия. В конвейерах закрытого типа воздух подается снизу, сбоку

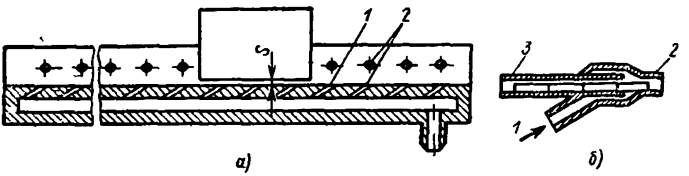


Рис. 16. Пневматические принудительные конвейеры:
а — открытые, *б* — закрытые

и сверху, если они применяются для транспортирования тонкого листового материала. Для транспортирования цилиндрических изделий вдоль оси применяют пневмовсасывающие устройства, действующие от сжатого воздуха по принципу эжекции (рис 16, *б*). Воздух через штуцер *1* поступает в магистраль *2*, образуя разрежение в загрузочной трубке *3* Изделия, подаваемые в трубку *3*, засасываются и, попадая в продольную магистраль, перемещаются сжатым воздухом. Трасса такого конвейера может быть криволинейной в пределах проходимости

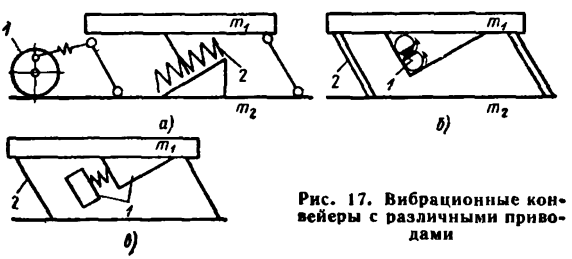


Рис. 17. Вибрационные конвейеры с различными приводами

транспортируемых изделий. Скорость перемещения изделий посредством пневматических конвейеров до 20 м/с.

Вибрационные конвейеры для межоперационного транспортирования применяют в исключительных случаях, так как они не рекомендуются для работы рядом с металлорежущим оборудованием из-за возможности передачи вибраций. Однако, когда изделия нельзя транспортировать другими способами, например, из-за их сцепляемости, то используют вибрационные конвейеры с различными приводами (рис. 17). На рис. 17, *а* приводом служит эксцентриковый механизм *1*, снабженный упругим звеном Лоток массой m_1 образует с пружиной *2* и фундаментом массой m_2 свободную колебательную систему (конвейер работает в резонансном режиме).

На рис. 17, *б* в качестве привода служит дебалансный вибратор направленного действия, состоящий из двух вращающихся навстречу друг другу грузов *1* В качестве упругого звена используют наклонные пружины *2*, являющиеся одновременно опорами лотка (конвейер работает в зарезонансном режиме).

В конвейере, показанном на рис. 17, *в*, приводом служит электромагнитный вибратор *1*. Лоток массой m_1 также монтируют на наклонных пружинах *2*. В ряде случаев используют пневматические вибраторы раз-

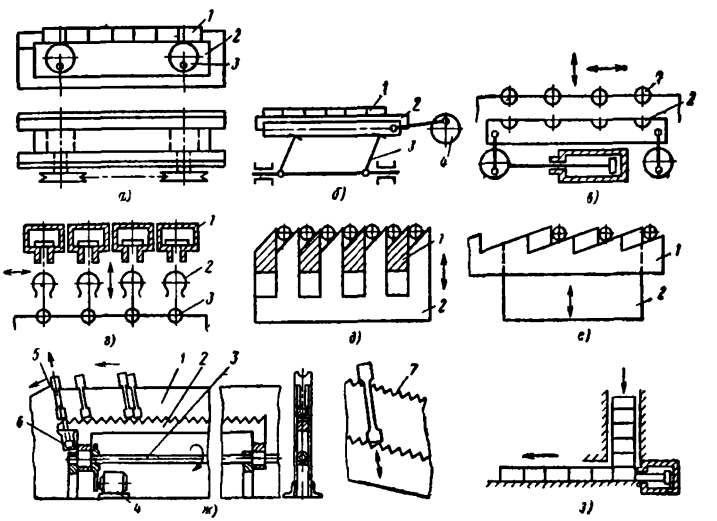


Рис. 18. Конвейеры прерывистого (дискретного) транспортирования:

а, б — перекладывающие планочные; *в* — перекладывающие гнездовые; *г* — переносящие, *д* — пилообразные одинарного действия, *е* — пилообразные двойного действия; *ж* — гребенчатые, *з* — проталкивающие

личных конструкций. Во всех случаях лотку сообщается колебательное движение так, чтобы сила трения между изделием и лотком была больше силы инерции от ускорения.

Прерывистое (дискретное) принудительное транспортирование осуществляется конвейерами, перемещающими изделия периодически сплошным потоком и вразрядку на определенный шаг (рис. 18).

Перекладывающие планочные конвейеры (рис. 18, *а*). Изделия *1* перекладываются путем подъема планки *2* посредством вращающихся эксцентриков *3* или подъема планки *2* (рис. 18, *б*) рычагом *3*, а затем смещения ее приводом *4*. Эти конвейеры применяют для транспортирования изделий на расстояния до 3 м.

Для более точного и четкого перемещения используют перекладывающие конвейеры различных модификаций (рис. 18, *в*). В них изделия фиксируются в гнездах неподвижных *1* и подвижных *2* гребенок. При этом подвижные гребенки совершают движения по прямоугольной трассе

с помощью различных приводных механизмов. Такие конвейеры отличаются, кроме того, тем, что могут реверсироваться, т. е. подавать изделия по трассе вперед или назад. Кроме того, перекладывающие конвейеры могут быть использованы для перемещения изделий практически любой формы, и поэтому они находят широкое применение в транспортных системах автоматических линий.

Переносящие конвейеры (рис. 18, *г*) состоят из одного или нескольких манипуляторов *1*, оснащенных захватами *2*. При транспортировании изделия *3* захватываются и переносятся на необходимые расстояния, после чего возвращаются в исходное положение. Это дорогие устройства, их применяют для перемещения изделий от станка к станку сверху.

Пилообразные конвейеры (рис. 18, *д*, *е*) применяют для транспортирования стержневых изделий поперек оси. В конвейерах одинарного действия (рис. 18, *д*) пилообразные неподвижные гребенки *1* чередуются с пилообразными подвижными гребенками *2*. При возвратно-поступательном движении вверх и вниз подвижные гребенки перебрасывают изделия через вершины неподвижных гребенок. В конвейерах двойного действия (рис. 18, *е*) пилообразные гребенки смещены на полшага, благодаря чему изделия перемещаются во время хода подвижной гребенки *2* вверх и вниз относительно неподвижной гребенки *1*. В конвейерах обоих типов изделия скатываются по наклонной части пилообразной гребенки под действием силы тяжести.

Гребенчатые конвейеры (рис. 18, *ж*) используют для транспортирования изделий с заплечиками типа шатунов. В конвейерах изделия перемещаются под углом 6—10° в направлении движения в двухрельсовых лотках *1*; изделие типа шатуна опирается нижней частью большой головки на верхние кромки лотка, а малой головкой — на нижнюю зубчатую гребенку *2*. Последняя совершает в вертикальной плоскости возвратно-поступательные движения с амплитудой 8—10 мм посредством вращающегося эксцентрикового валика *3* от привода *4*. При движении гребенки вверх шатун смещается по гладким кромкам лотка большой головкой, а при ходе гребенки вниз — малой головкой. Дойдя до упора *5*, шатун прекращает движение. Все последующие шатуны следуют друг за другом вплотную или вразрядку и в конечном пункте образуют сплошной поток. Выдача шатунов производится толкателем *6*. На радиусных участках перемещение шатунов производится в том же порядке. Для этого под участками монтируют вставку из шарнирного валика, а радиусный участок гребенки соединяют с прямолинейными участками. При наклонной трассе на верхних кромках боковин лотка делают зубцы *7*, благодаря которым шатуны перемещаются вверх или вниз.

Проталкивающие конвейеры, (рис. 18, *з*) перемещают изделия сплошным потоком на большое расстояние (до 10 м и более). Каждое последующее изделие проталкивает все изделия находящиеся на конвейере. Этот метод не рекомендуется для межоперационного транспортирования, так как для него требуется большой запас изделий по всей трассе, который в случае необходимости не может быть подан весь к месту потребления. Для перемещения изделий вразрядку на определенный шаг применяют шаговые конвейеры (рис. 19).

Штанговые конвейеры, наиболее распространенные среди шаговых (рис. 19, *а*). По основному направляющему рельсу конвейера направляются спутники, несущие изделия. В качестве тягового

органа применена штанга *1* круглого сечения с захватами *2*, которая направляется роликовыми опорами *3* и совершает возвратно-поступательные движения от гидропоршневого механизма *4*. Кроме возвратно-поступательного движения, штанга совершает вращательное движение на определенный угол от гидропоршневого механизма *5*. Возвратно-поступательное движение и поворот штанги производятся последовательно.

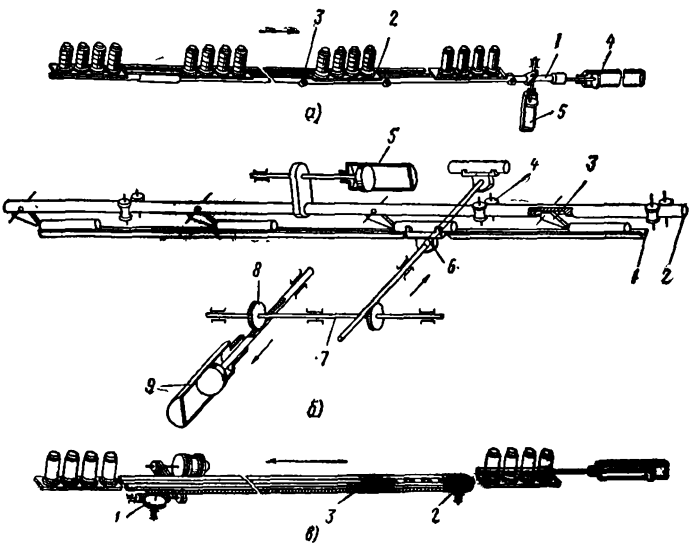


Рис. 19. Шаговые конвейеры:

а — штанговые с захватами; *б* — штанговые с собачками; *в* — цепные челночные

Изделия захватываются и перемещаются на один шаг за каждое циклическое движение штанги.

На рис. 19, *б* показан штанговый конвейер, служащий для несквозного транспортирования. Он состоит из лотка *1*, штанги *2* с захватами в виде подпружиненных храповых собачек *3* и ряда питателей *6*, которые перемещают изделия в поперечном направлении в зону обработки каждого станка. Привод осуществляется посредством скомпонованных в одном блоке гидропоршневых механизмов: *5* — для возвратно-поступательного перемещения штанги и *9* — для перемещения питателей посредством реечно-шестеренной передачи *8* и вала *7*. Штанга *2* покоится на роликовых опорах *4* с ободами V-образного сечения.

Штанговые конвейеры с гидроприводом допускают скорость перемещения изделий до 0,5 м/с.

Цепные челночные конвейеры (рис. 19, *в*) перемещают изделия на шаг 26 м. В качестве тягового органа в нем применена бесконечная втулочно-роликовая цепь, которая натянута на две звездочки в горизонтальной плоскости: звездочка *1* приводная, звездочка *2* натяж-

ная. Цепь направляется в стальных лотках, которые смонтированы на деревянной доске для поглощения шума. К цепи прикреплен захват, который состоит из рейки *3* с подпружиненными собачками. Рейка захвата направляется двумя чугунными рельсами, профиль которых в верхней части имеет Т-образную форму для направления спутников, несущих изделия, или самих изделий. Рейка захвата соединена с цепью шатуном, который в месте сочленения с рейкой соединяется посредством подпружиненного штока. Во время движения цепи транспортера рейка захвата совершает возвратно-поступательное движение от первой станции к последней и обратно, как челнок. По пути от станции к станции имеются конечные выключатели, на которые воздействует захват и с помощью которых происходит переключение электродвигателя с одной скорости на другую. Скорость перемещения изделий челночными транспортерами регулируется в пределах 0,25—0,9 м/с

ПОДЪЕМНИКИ

Для перемещения изделий в вертикальном направлении при самотечном, полусамотечном и принудительном межоперационном транспортировании применяют цепные, толкающие и вибрационные подъемники.

Цепные подъемники применяют преимущественно для изделий различной конфигурации и массы. В них на одной или двух параллельно движущихся цепях предусматривают захваты в виде стержней, полок, ковшей и тому подобных устройств, в которых синхронно подаются изделия

На рис 20 показан цепной подъемник для колец, которые доставляются в межоперационный конвейер *12*, расположенный на высоте 4,5 м. Подъемник состоит из корпуса *1*, в котором смонтированы приводные *2* и натяжные *3* звездочки. Две цепи *4* имеют захваты *5* в виде перекладин Привод *6* расположен вверху, причем рабочая ветвь цепи направляется прорезью *13*. В верхней части корпуса *1* имеется лоток выдачи, в нижней — лоток *8* приема с отсекателями *9*, действующими от тяги *10*, соединенной с синхронизатором *11* Поступающие в лоток *8* изделия пропускаются в подъемник отсекателями *9*, которые срабатывают, когда очередной захват *5* воздействует на синхронизатор *11*. Поднятые кольца под действием собственной массы скатываются по лотку *7* выдачи в конвейер *12*

Толкающие подъемники (рис. 21) применяют для подъема изделий на высоту не более 1 м. Изделия, поступающие из приемного лотка *1*, проталкиваются в шахту *2* толкателем *3*, совершающим возвратно-поступательные движения от кривошипного механизма *4*. Изделия в шахте задерживаются храповой собачкой *5* Эти подъемники применяют в редких случаях, так как в них вся трасса должна быть постоянно заполнена поднимаемыми изделиями. Кроме того от движения в шахте потока изделий стенки ее на участке ближе к собачке быстро выходят из строя

Вибрационные подъемники предназначены для подъема мелких изделий как в ориентированном, так и в неориентированном положении по винтовым лоткам Виброподъемники передают оборудованию колебания и, кроме того, издают шум, поэтому рекомендуется хорошо изолировать их шумопоглощающим ограждением.

Вибрационный подъемник (рис. 22) состоит из трубы *1* с винтовым лотком *2* и основания *4* с дебалансным вибратором. Изделия поступают с предыдущей технологической операции в емкость *3*, откуда передви-

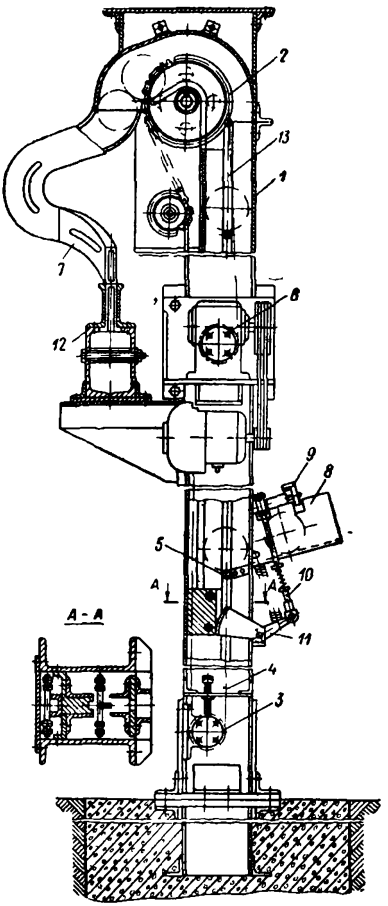


Рис. 20. Цепной подъемник

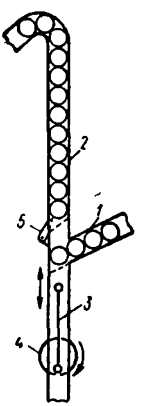


Рис. 21. Толкающий подъемник

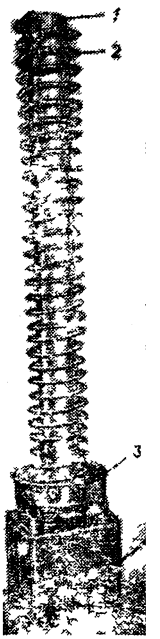


Рис. 22. Вибрационный подъемник

гаются вверх по винтовому лотку. С помощью вибрационного подъемника могут транспортироваться изделия различной конфигурации массой до 300 кг. Высота подъемника — 3 м, число колебаний лотка — 1420 в минуту, производительность устройства 500—600 шт/ч; масса устройства — 0,350 г.

Характеристика конвейеров и подъемников приведена в табл. 5.

5. Максимальные размеры конвейеров и подъемников, массы изделий и скорости принудительного перемещения

Тип конвейера, подъемника	Длина, м	Масса изделия, кг	Скорость, м/с
	Конвейеры		
Ленточные	10—30	2	0,8—1,5
Ролико-цепные	10—30	3—100	0,4—0,7
Прокатные	10—30	1—2	0,2—0,4
Одноленточные качающие	5—15	1—2	0,2—0,4
Распределительные	10—50	5	0,2—0,6
Винтовые	10—100	0,08—1	0,01—0,2
Спиральные	1—3	0,1—1	0,01—0,1
Ролико-приводные	5—10	—	0,15—1,5
Двухвалковые	0,5—2	1—20	0,01—0,2
Пневматические	1—100	1—2	6—20
Вибрационные	1—30	1—2	0,1—0,25
Перекладывающие	1—5	40	0,1—0,2
Проталкивающие	1—30	40	0,1—0,2
Штанговые (шаговые)	10—30	60	0,1—0,2
Челночные (шаговые)	10—50	60	0,25—0,9
Гребенчатые	2—5	1—25	0,1—0,2
Пилообразные	2—5	1—5	0,1—0,2
Переносящие	5—10	60	0,1—0,2
	Подъемники		
Цепные	2—20	1—10	0,2—0,3
Толкающие	1—2	1—3	0,05—0,1
Вибрационные	1—3	0,1—1	0,08—0,17

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автоматизация процессов точной отделочной обработки и транспортно-складских операций в машиностроении.** Сборник. Под ред. В. И. Дикушина. М., «Наука», 1975. 238 с.

2. **Бобров В. П.** Проектирование загрузочно-транспортных устройств к станкам и автоматическим линиям М., «Машиностроение», 1964 292 с.

3 **Классификация и терминология автоматических загрузочных приспособлений для штучных изделий.** Разд 1. ОМРТМ 3442-002—64 М., ЦИНТИАМ, 1964. 80 с.

4. **Классификация и терминология.** Основные типы автоматических линий РМЭ-1. М, НИИМАШ, 1973. 56 с.

5. **Рекомендации** по применению механизированных средств обслуживания автоматических линий РМЭ11-4. М., НИИМАШ, 1973. 84 с.

6. **Транспортные и нормализованные устройства загрузочных приспособлений.** Разд 5. ОМРТМ 3442-008—64, М, ЦИНТИАМ, 1964. 80 с.

7. **Усубаматов Р. А.** Транспортные системы автоматических линий с гибкой связью. Фрунзе, изд. «Мектеп», 1974. 188 с.

Глава 9

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЗАГРУЗОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ

Автоматическим загрузочно-разгрузочным устройством называют комплекс механизмов, обеспечивающих автоматическое перемещение заготовки с места хранения в рабочую зону станка, а после завершения операции обработки — удаление обработанной детали на заданное место хранения.

Загрузочно-разгрузочные устройства для штучных заготовок выполняют в виде самостоятельных узлов станка, узлов, органически связанных со станком, или узлов станочных приспособлений.

Загрузочно-разгрузочные устройства состоят из емкости и функциональных механизмов: ориентации, поштучной выдачи, питателя и др.

Типы загрузочных устройств в зависимости от способа сосредоточения в них запаса штучных заготовок приведены в табл. 1.

Различают универсальные, универсально-наладочные и специальные загрузочные устройства. Устройства первых двух типов могут переналаживаться или подналаживаться; устройства третьего типа применяют для загрузок заготовки определенного типа.

МАГАЗИННЫЕ УСТРОЙСТВА

Магазинные устройства, в которых сосредоточивается определенный запас заготовок, выполняют с самотечным, полусамотечным и принудительным перемещением заготовок.

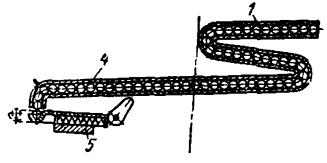
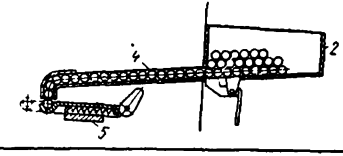
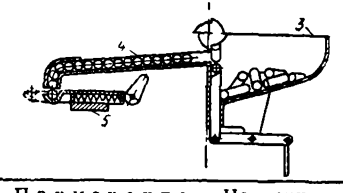
В самотечных устройствах заготовки перемещаются качением или скольжением. В полусамотечных устройствах заготовки скользят по поверхности, расположенной под углом, значительно меньшим угла трения. Они перемещаются вследствие искусственного уменьшения силы трения между поверхностями скольжения при поперечном колебании или равномерном движении несущей поверхности или в результате образования воздушной подушки между поверхностями скольжения.

Классификация магазинных устройств дана в работе [1].

Лотковые магазины. Различают лотки-скаты, лотки-склизы и роликовые лотки. Лотки (рис. 1) бывают прямолинейные обычные, прямолинейные роликовые, изогнутые, вогнутые и выпуклые, рельсовые, пазовые, винтовые (спиральные), зигзагообразные, спирально-овальные, специальные (змейковые, каскадные и др.).

По геометрии поперечного сечения лотки могут быть прямоугольные, *v*-образные, с поперечным сечением по форме подаваемых заготовок (профильные) открытые или закрытые (рис. 2).

1. Типы загрузочных устройств в зависимости от способа сосредоточения в них запаса заготовок

Тип устройства	Способ сосредоточения заготовок и их ориентации	Область применения
Магазинные 	Запас заготовок в магазине сосредоточивается в один ряд; каждой заготовке вручную придается ориентация в пространстве Заготовка в рабочую зону станка передается питателем, а иногда и непосредственно из магазина	Преимущественно для катучих заготовок или когда по масштабам производства нецелесообразно изготовлять сложные загрузочные устройства
Штабельные 	Запас заготовок сосредоточивается в штабельнике в несколько рядов; каждой заготовке вручную или механизмом, не входящим в состав загрузочного устройства, придается определенная ориентация Заготовки из штабельника поступают в накопитель, а из него питателем перемещаются в рабочую зону станка	Для стержневых заготовок или когда бункерные устройства экономически нецелесообразны
Бункерные 	Запас заготовок в емкости (бункере) беспорядочен (навалом) Ориентация заготовок осуществляется специальным механизмом, из которого они поступают в накопитель, а из последнего питателем перемещаются в рабочую зону станка	Для заготовок, допускающих сосредоточение навалом. Рентабельны в крупносерийном и массовом производстве

Примечание На эскизах следующие обозначения. *1* — магазин; *2* — штабельник, *3* — бункер; *4* — накопитель; *5* — питатель

По конструктивному исполнению лотки бывают цельными или собранными из нормализованных деталей (рис. 3).

В закрытых лотках в стенках делают смотровые щели для наблюдения за перемещением заготовок и проталкивания застрявших заготовок.

Поверхности лотков, по которым катятся или скользят заготовки, должны быть обработаны до параметра шероховатости $Ra=0{,}63 \div 0{,}32$ мкм.

Если в процессе транспортирования заготовки должны изменить ориентацию, в лотках используют переходные участки (рис. 4).

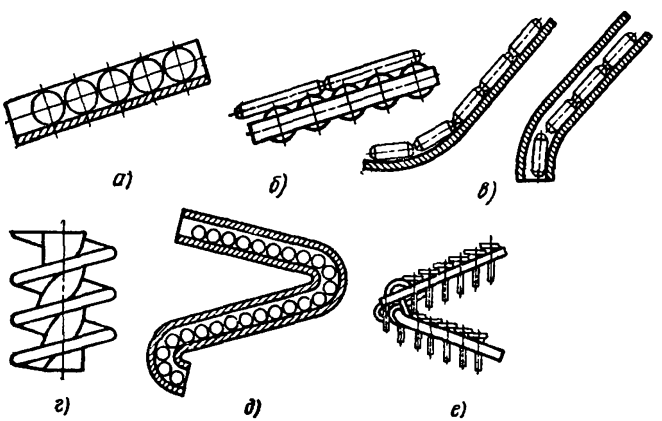


Рис. 1. Лотки:

а — прямолинейные обычные; *б* — прямолинейные роликовые; *в* — изогнутые, вогнутые и выпуклые; *г* — винтовые (спиральные); *д* — зигзагообразные, *е* — спирально-овальные

В устройствах для межстаночного транспортирования лотки собирают из нескольких секций, стыки отдельных секций не должны затруднять движение заготовок (рис. 5) [1].

При значительных углах наклона и протяженности лотков конечная скорость движения заготовок в лотках-скатах становится большой. Для уменьшения конечной скорости рекомендуется лотки-скаты устанавливать с наклоном в поперечном направлении так, чтобы заготовки одним торцом касались боковой стенки лотка; дно лотка для торможения делают с небольшими уступами (зигзагами), в направлении движения заготовок устанавливают подпружиненные рычаги, флажки, гидропоршневые замедлители [1] и т. д.

Лотки-скаты и лотки-склизы. При расчете размеров лотков следует пользоваться данными табл. 2. Более подробные сведения по расчету лотков изложены в работе [1].

Зазоры, рассчитанные по формулам табл. 3, являются максимальными, применяемые на практике зазоры $\Delta l_1 \leqslant \Delta l$ определяют по формуле $\Delta l_1 = \Delta' + \Delta_{min} + \Delta B$, где Δ' — допуск на длину заготовки;

Δ_{min} — наименьший гарантированный зазор; ΔB — допуск на ширину лотка.

Гарантированный зазор Δ_{min} при отсутствии загрязнения лотка и заготовок принимают равным допуску на длину заготовки по 3—4-му

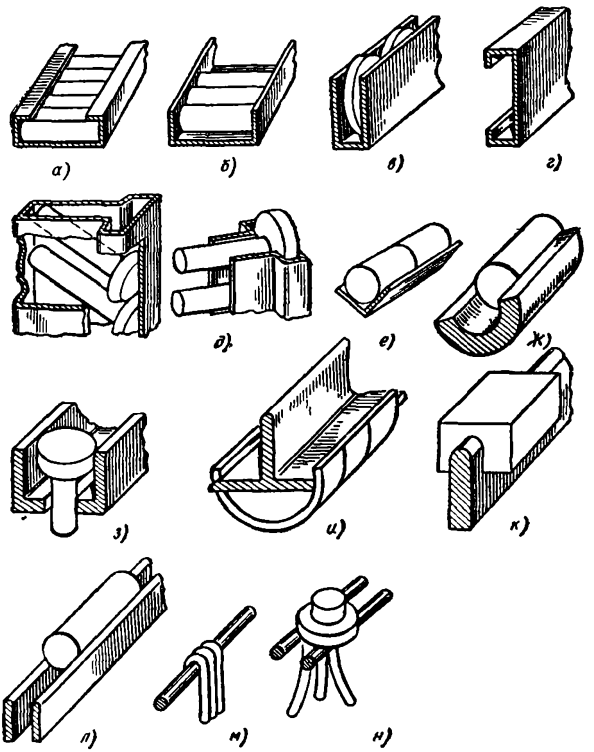


Рис. 2. Поперечные сечения лотков:

а — с закраинами для стержней; *б* — открытые для стержней; *в* — открытые для дисков; *г* — закрытые с закраинами для дисков; *д* — закрытые для стержней с головками; *е* — угловые открытые; *ж* — радиусные; *з* — пазовые; *и* — *Т*-образные для колец с пазом; *к* — стержневые, *л* — рельсовые; *м* — круглые одностержневые; *н* — круглые рельсовые

классу точности, а если заготовки загрязненные, — по 5—7-му классам точности.

Угол наклона γ лотков-скатов и лотков-склизов назначают в зависимости от шероховатости поверхностей заготовок и лотка, твердости и степени загрязнения заготовки, наличия на их поверхности смазки и рассчитывают по формулам (табл. 4)

Расчет пропускной способности лотков. Лотки-склизы (рис. 6, *а*). Плавность и скорость перемещения заготовок по лотку

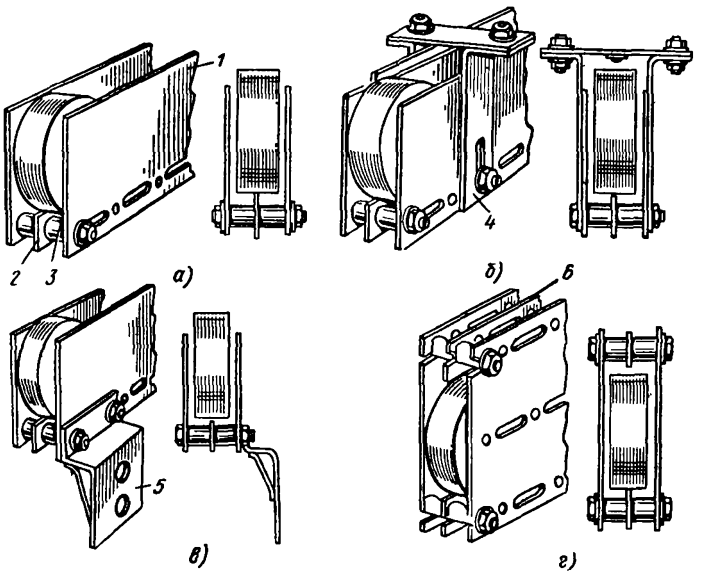


Рис. 3. Гибкие лотки:

а, б, в — открытые; *г* — с предохранительной планкой: *1* — боковые стенки; *2* — колосники, *3* — распорки, *4* — угольник, *5* — кронштейн, *6* — планки, исключающие выброс заготовок

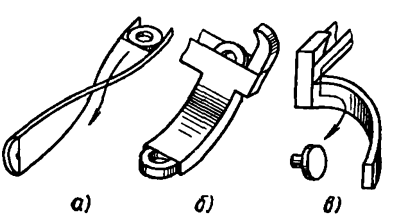


Рис. 4. Переходные участки лотков, обеспечивающие переориентацию заготовок:

а — из положения скольжения в положение качения; *б* — из положения качения в положение скольжения, *в* — поворот несимметричных заготовок на 180° в вертикальной плоскости

зависят от материала заготовки и лотка, размера и шероховатости поверхности скольжения и прогиба лотка. Тяжелые заготовки при всех прочих равных условиях скользят лучше легких. На выпуклых и вогнутых участках лотка заготовки перемещаются медленнее, чем на прямолинейных. Наибольшая скорость движения заготовки обеспечивается при выполнении наклонной поверхности в виде циклоиды, а наименьшая — в виде прямой. Если конечная скорость заготовки велика, то для ее уменьшения лотки выполняют из двух участков, имеющих разные углы наклона, сопрягаемые по радиусу R, который больше длины заготовки, перемещаемой по лотку (рис. 6, *б*).

Угол наклона участка *I* $\gamma = 25 \div 30°$, а угол наклона участка *II* γ_1 обязательно меньше угла трения.

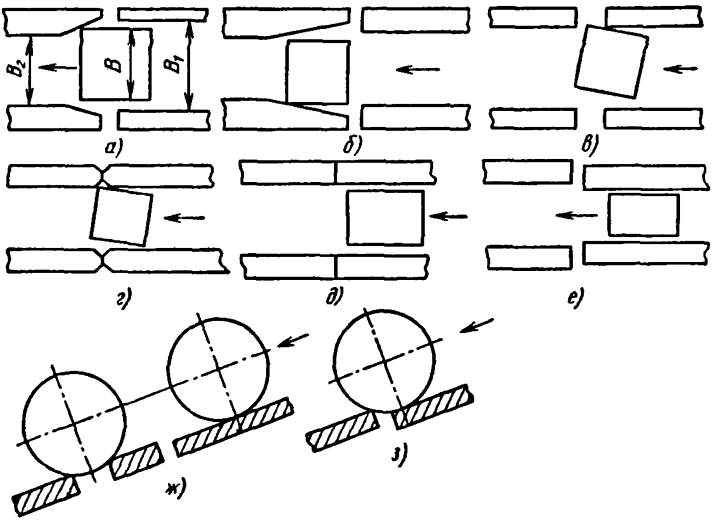
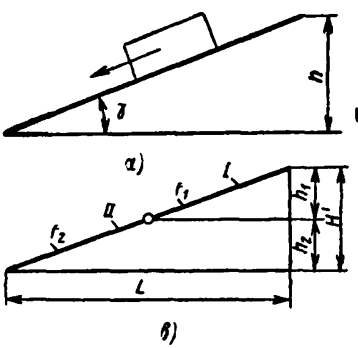


Рис. 5. Стыки секции лотков:

а—е — стенок (бортов); *ж*, *з* — дна лотка; B — ширина заготовки; B_1, B_2 — ширины лотков



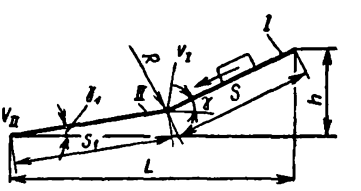


Рис. 6. Схема движения единичной заготовки по лотку:

а — лоток-склиз, *б* — лоток-склиз, состоящий из двух секций; *в* — лоток, имеющий секции с разными коэффициентами трения

Скорость скольжения единичной заготовки по прямолинейному лотку (см. рис. 6, *а*)

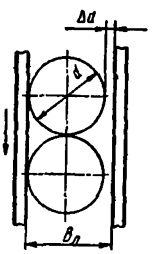
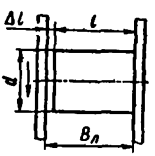
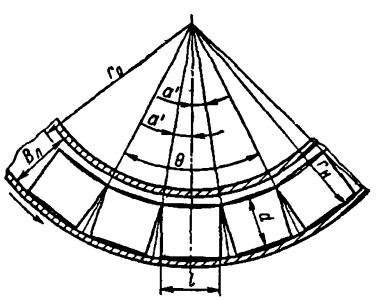
$$v = \sqrt{2gh(1 - f' \operatorname{ctg}\gamma) + v_0^2},$$

где f' — приведенный коэффициент трения.

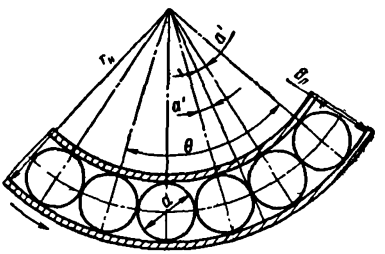
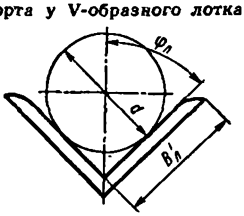
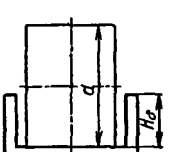
При $v_0 = 0$

$$v = \sqrt{2gh}\sqrt{1 - f' \operatorname{ctg}\gamma}.$$

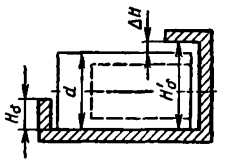
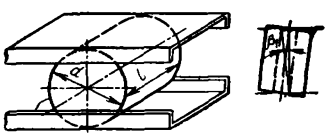
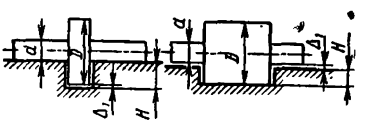
2. Геометрические параметры лотков

Параметр и эскиз	Формула
Ширина прямоугольных лотков при перемещении заготовки по направлению к ее большой оси 	$B_л = (d + \Delta d)$; $\Delta d \approx 1 + 3$ мм
Ширина лотка при перемещении заготовки в направлении, перпендикулярном к ее большой оси 	$B_л = l + \Delta l$
Ширина криволинейного участка лотка для цилиндрических заготовок при $l/d \geqslant 1{,}5$ * 	$B_л = r_н - 0{,}5\sqrt{4r_н^2 - l^2} + d + \Delta l'$
Число n заготовок на криволинейном участке, ограниченном углом θ	$n = \frac{\theta}{2\alpha'}$; $\sin\alpha' = \frac{l}{2r_0}$; $r_0 = r_н - d$

Продолжение табл. 2

Параметр и эскиз	Формула
Ширина криволинейного участка для плоских круглых заготовок и низких колпачков (при $d \geqslant l$) *	$B_л = d + \Delta d_2 + (1 \div 1{,}5)$
 Число n заготовок на криволинейном участке, ограниченном углом θ	$n = \frac{\theta}{2\alpha'} + 1;$ $\sin\alpha' = \frac{d}{2\left(r_н - \frac{d}{2}\right)}$
Ширина борта у V-образного лотка	$B'_л = (0{,}7 \div 0{,}8)\, d$
 Угол V-образного лотка	$\varphi_л = 45°$ для пустотелых заготовок; $\varphi_л = 60°$ для сплошных заготовок
Высота борта открытого коробчатого лотка: для цилиндрических заготовок для колец и дисков для цилиндрических заготовок с односторонней полостью	$H_б = (0{,}5 \div 0{,}6)\, d$ $H_б > 0{,}6d$ $H_б = (0{,}7 \div 0{,}8)\, d$
	

Продолжение табл. 2

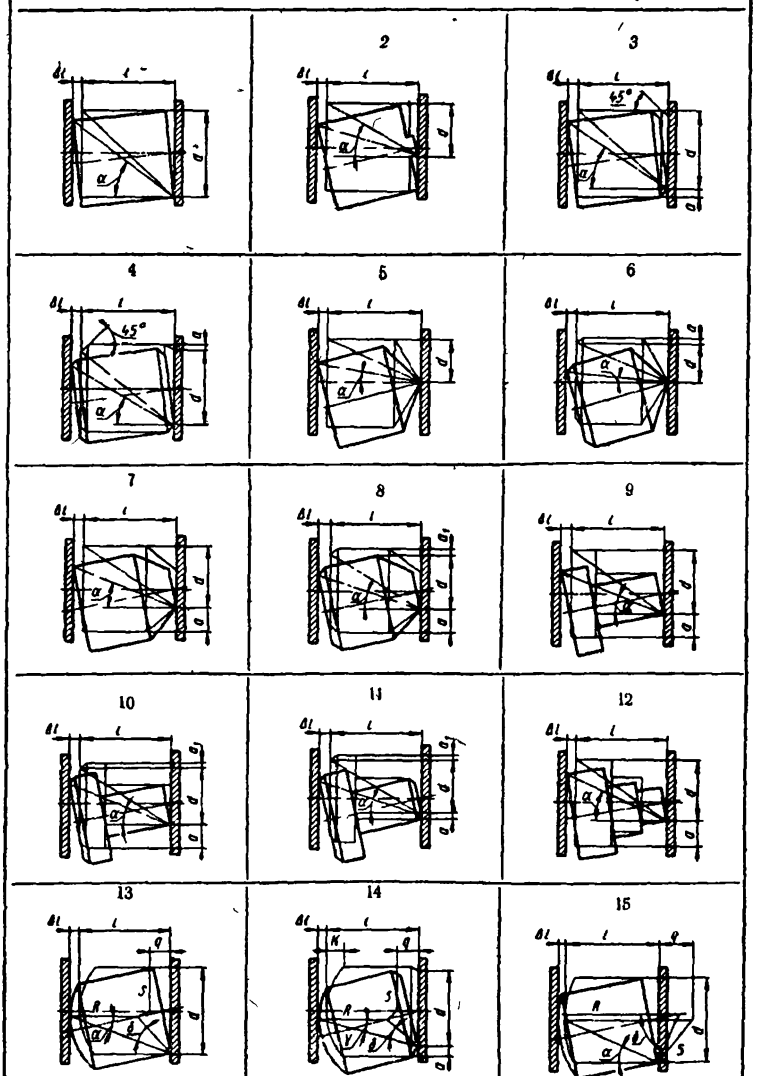
Параметр и эскиз	Формула
Высота бортов у полузакрытых коробчатых лотков 	$H_б = 0{,}4d$; $H_б' = d + \Delta H$
Высота бортов у закрытого коробчатого лотка 	$H_б = r_3 -$ $-\sqrt{r_3^2 - \left(\frac{l \operatorname{tg} \beta_1}{2}\right)^2}$; $\operatorname{tg} \lambda_1 < f_б$ ($f_б$—коэффициент трения заготовки о борт); $r_3 = \frac{d}{2}$
Высота бортов лотка для ступенчатых валиков: при опоре цапф валика на кромку лотка при перемещении на ступени большого диаметра 	$H = \frac{D-d}{2} + \Delta_1$ $H = \frac{D-d}{2} - \Delta_1$; $\Delta_1 = 2 \div 5$ мм

* Если лоток имеет несколько изгибов (криволинейных участков) различного радиуса $r_н$, то ширина лотка $B_л$ вычисляется для изгиба наименьшего радиуса.

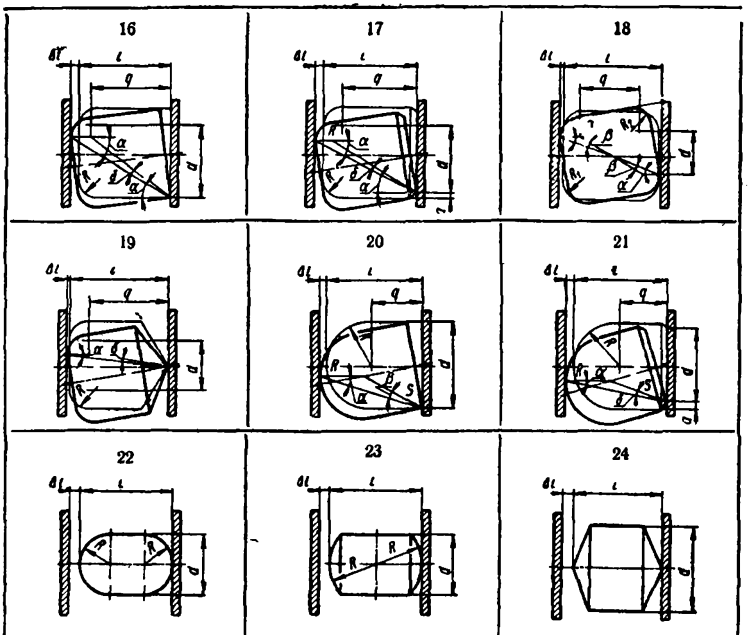
Обозначения: $B_л$ — ширина лотка, мм; d — диаметр (ширина) заготовки, мм; Δd — зазор между заготовкой и бортами лотка, мм; l — длина заготовки, мм; Δl — зазор между заготовкой и бортами лотка в направлении, перпендикулярном к ее большой оси, мм (значения Δl в зависимости от формы торцов заготовок даны в табл. 3); $r_н$ — радиус криволинейного участка наружного борта лотка, мм; $\Delta l'$ — допуск на длину заготовки, мм; Δd_2 — допуск на диаметр заготовки, мм; α — угол на криволинейном участке, °; $B_л'$ — ширина борта у V-образного лотка, мм; $H_б$ — высота борта лотка, мм; ΔH — зазор между стенкой лотка и заготовкой; $\Delta H = 0{,}5 \div 1$ мм; λ_1 — угол контакта заготовки с бортом лотка, °; θ — угол криволинейного участка лотка, °.

8. Формулы для расчета зазора Δl в лотке для заготовок с различными торцами (по данным В. П. Боброва)

А *эскизы*



Продолжение табл 3



В. *Значения зазора* Δl *между заготовкой и бортами*

Эскиз	Формулы
1—12	$\Delta l = \dfrac{\sqrt{d^2 + l^2}}{\sqrt{1 + f^2}} - l$
13—15	$\Delta l = \dfrac{S \sin(\delta + \alpha)}{f} - l;\quad \sin\delta = \dfrac{R \sin\alpha}{S};$ $S = \sqrt{q^2 + \left(\dfrac{d}{2}\right)^2}$
16—17	$\Delta l = \dfrac{S \sin(\delta + \alpha)}{f} - l;\quad S = \sqrt{q^2 + d^2}$

Продолжение табл 3

Эскиз	Формулы
18	$\Delta l = \frac{S \sin(\delta + \alpha)}{f} - l;\quad S = \frac{1}{2}\sqrt{d^2 + d^2}$
19—21	$\Delta l = \frac{S \sin(\delta + \alpha)}{f} - l$ $S = \sqrt{l^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2}$
22—24	Заготовки, которые не направляются боковыми стенками лотка –

Примечания: 1. Для заготовок, оформленных по торцам фасками, закруглениями и т п., расчетный диаметр (ширину) d и длину l следует брать от возможных точек контакта с боковыми стенками лотка Таким образом, вместо d и l подставляют значения $d_р$ и $l_р$ (см эскизы).

2 Обозначения, принятые в формулах, даны на эскизах; f — коэффициент трения (в зависимости от материала трущейся пары принимают равным 0,24—0,26).

Скорость скольжения на лотке, показанном на рис. 6, *б*, рассчитывают по формулам

$$v_I = \sqrt{2g(\sin\gamma - f'\cos\gamma)S + v_0^2};$$

$$v_{II} = \sqrt{v_к^2 - 2g(\sin\gamma_1 - f'\cos\gamma_1)S_1};$$

$$S_1 = \frac{2g(1 - f'\operatorname{ctg}\gamma)h + v_0^2 - v_к^2}{2gf'(\cos\gamma - \operatorname{ctg}\gamma\sin\gamma_1)};$$

$$S = \frac{2g(f'\cos\gamma_1 - \sin\gamma_1)h - (v_0^2 - v_к^2)\sin\gamma_1}{2gf'(\cos\gamma - \operatorname{ctg}\gamma\sin\gamma_1)\sin\gamma};$$

$$L = S\cos\gamma + S_1\cos\gamma_1 = \frac{2gh + v_0^2 - v_к^2}{2gf'},$$

где $v_к$ — конечная скорость скольжения заготовки.

В прямолинейном лотке различие f_1 и f_2 на участках *I* и *II* достигается футеровкой или иными способами (рис. 6, *в*).

4. Формулы для расчета углов наклона γ лотков самотечных, коробчатых и роликовых

Лотки	Формула
Коробчатые прямолинейные лотки-скаты	$\sin\gamma \geqslant kf\left[f\sqrt{\frac{2H_б}{r}} + \operatorname{tg}(\alpha_0 - \beta')\right]$
Коробчатые прямолинейные лотки-склизы	$\operatorname{tg}\gamma = \frac{2ghf'}{2gh + v_0^2 - v^2}$ Оптимальный угол наклона $\gamma = 20 \div 25°$
Роликовые прямолинейные лотки	$\operatorname{tg}\gamma \geqslant \left(1 + z\frac{m_р}{m}\right)\frac{d_0 f_ц}{D_р} + \frac{2k'}{D_р}$

Обозначения: f — коэффициент трения качения; α_0 — угол между диагональю и образующей заготовки, β' — угол перекоса; k — коэффициент, зависящий от шероховатости поверхности и чистоты лотка, $k = 1{,}2 \div 1{,}5$ для обычных и $k = 2{,}5 \div 3$ для загрязненных лотков, $H_б$ — высота борта лотка; v_0 и v — соответственно скорость движения заготовки начальная и конечная; f' — приведенный коэффициент трения; h — высота наклонной поверхности (высота скольжения), $f_ц$ — коэффициент трения в цапфах роликов; $D_р$ — диаметр роликов; k' — коэффициент трения качения заготовок по роликам; z — число роликов, $m_р$ — масса ролика; m — масса заготовки; d_0 — диаметр оси ролика; $r = \frac{d}{2}$ — радиус заготовки.

В тех случаях, когда в лотках-склизах заготовки движутся общим потоком (рис. 7), скорость заготовки на выходе из лотка [13]

$$v_1 = \sqrt{2gS\left[\frac{n_1 - 0{,}5}{n_2 + n_1}(\sin\gamma - f\cos\gamma) - \frac{n_2 + 0{,}5}{n_2 + n_1}f\right] + v_0^2},$$

а время перемещения заготовки по пути S, если движение равноускоренное,

$$t_1 = \frac{2S}{v_1 + v_0} =$$

$$= \frac{2S}{v_0 + \sqrt{2gS\left[\frac{n_1 - 0{,}5}{n_2 + n_1}(\sin\gamma - f\cos\gamma) - \frac{n_2 + 0{,}5}{n_2 + n_1}f\right] + v_0^2}}.$$

При начальной скорости $v_0=0$ $v_1=\sqrt{2gSe_1}$,

где $e_1=\sqrt{\frac{n_1-0{,}5}{n_2+n_1}(\sin\gamma-f\cos\gamma)-\frac{n_2+0{,}5}{n_2+n_1}f}$;

$$t_1=\frac{2S}{v_1}=\sqrt{\frac{2S}{g}}e_2;$$

$e_2=\frac{1}{e_1}$; n_1 — число заготовок на наклонном участке лотка; n_2 — число заготовок на горизонтальном участке лотка.

Для обеспечения движения должны быть соблюдены следующие условия: 1) $n_1>\left[\frac{(n_2+0{,}5)f}{\sin\gamma-f\cos\gamma}+0{,}5\right]$, 2) $\sin\gamma\geqslant f\cos\gamma$ или $\operatorname{tg}\gamma\geqslant f$. Если не соблюдается первое условие, то для движения заготовок необходимо установить дополнительный толкатель. В случае невыполнения второго условия движение вообще невозможно.

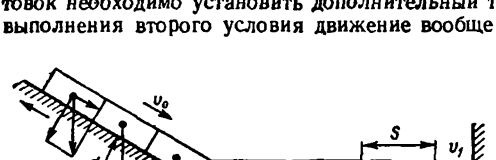


Рис. 7. Схема движения заготовок по плоскому лотку, состоящему из двух прямолинейных участков

При конструировании лотка по заданным t_1 и S определяют v_1 и γ

$$v_1=\frac{2S}{t_1};\quad t_1=\sqrt{\frac{2S}{g}}\frac{1}{e_1};\quad e_1=\frac{1}{t_1}\sqrt{\frac{2S}{g}};$$

$$\gamma=\operatorname{arctg}\left[\frac{f}{1-A^2}\pm\sqrt{\frac{f^2}{(1-A^2)^2}-\frac{f^2-A^2}{1-A^2}}\right],$$

где $A=\frac{e_1(n_2+n_1)+f(n_2+0{,}5)}{n_1-0{,}5}$.

Определение скорости v перемещения заготовок по криволинейному лотку радиуса R изложено в работе [13].

Лотки-скаты. Конечная скорость качения заготовок по лотку при начальной скорости заготовки $v_0=0$ $v_к=\sqrt{\frac{2g(rH_1-k'L')}{1{,}5r}}$ (g — ускорение силы тяжести);

при начальной скорости $v_0>0$ $v_к=\sqrt{\frac{2g(rH_1-k'L')}{1{,}5r}+v_0^2}$,

где H_1 — высота наклонной поверхности, мм; $r=d/2$ — радиус заготовки, мм; L' — длина горизонтальной проекции наклонной поверхности, мм; k' — коэффициент трения качения.

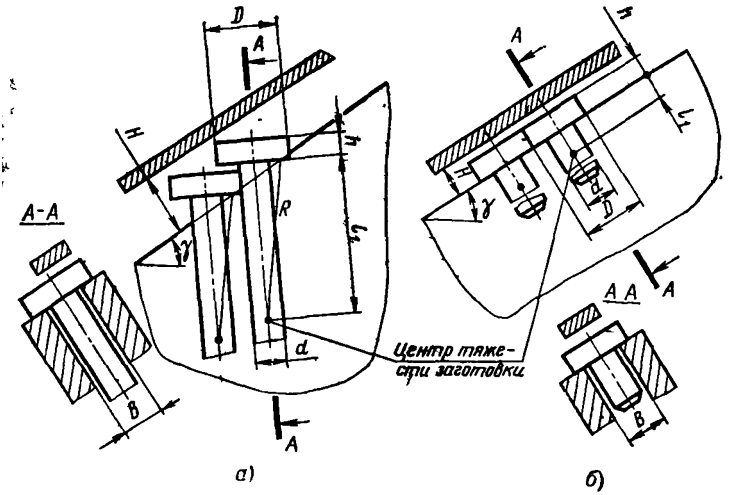


Рис. 8. Схема рельсового лотка:

а — заготовки перемещаются внахлестку, *б* — заготовки перемещаются, соприкасаясь головками

Время движения заготовок по прямолинейному лотку:
если заготовка не касается бортов лотка, то

$$t = \sqrt{\frac{2S}{g(\sin\gamma - f_к \cos\gamma)}};$$

если заготовка касается обоих бортов лотка, то

$$t = \sqrt{\frac{2S}{g\left(\sin\gamma - f_к\cos\gamma - f_c f_к \sqrt{\frac{2H}{r}} + \operatorname{tg}\beta\right)}};$$

здесь S — путь заготовки, мм; γ — угол наклона лотка; $f_к$ — коэффициент трения качения; f_c — коэффициент трения поперечного скольжения заготовки; H — высота бортов лотка; r — радиус заготовки; β — угол поворота заготовки.

Рельсовые лотки (рис. 8) применяют для заготовок с буртом. При перемещении заготовок внахлестку (рис. 8, *а*) угол наклона лотка $\gamma \geqslant \arcsin \frac{2h}{\sqrt{D^2 - S^2} + d}$, а при соприкосновении головок заготовок друг с другом (рис. 8, *б*) $\gamma \leqslant \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{D^2 - S^2}}{2l_1}$. При перемещении заготовок внахлестку зазор между ограничительной планкой и опорной поверхностью лотка $H = \frac{D + \sqrt{D^2 - S^2}}{2}$ ×

$\times \sin\left[\gamma - \operatorname{arctg}\frac{\sqrt{D^2 - S^2}}{2l_1}\right] + h + (1 \div 2)$ мм, а при соприкосновении головок друг с другом $H = h_{max} + (1 \div 2)$ мм.

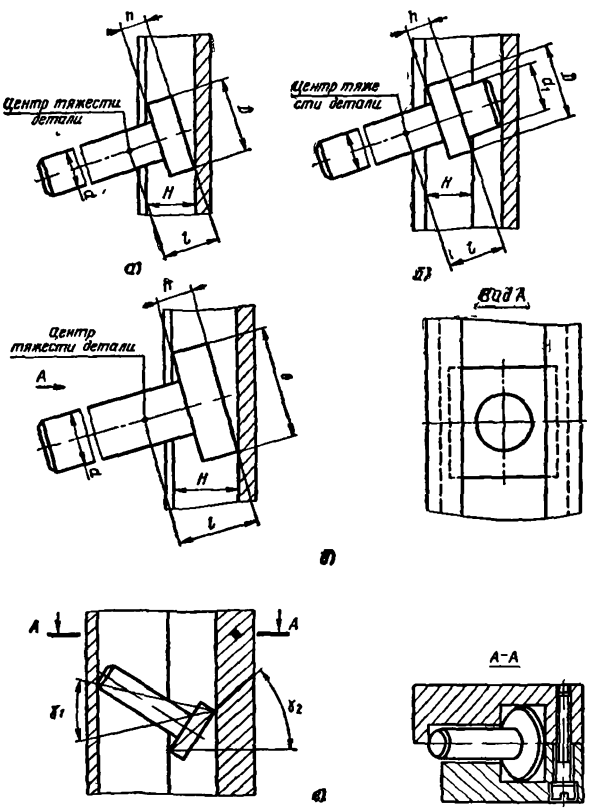


Рис. 9. Схема пазового вертикального лотка:

а — для заготовок с круглым буртом; *б* — для ступенчатых валиков; *в*—для заготовок с квадратным буртом, *г* — пазовый лоток с боковой стенкой

В формулах приняты обозначения: l_1 — расстояние от опорной плоскости головки до центра тяжести заготовки; $l_1 = \sqrt{R^2 - \left(\frac{S}{2}\right)^2}$, где $S = B + h$, $B = 1{,}1d$, $B < S < 0{,}8D$, h — толщина рельсов, по которым движется заготовка Остальные обозначения даны на рис 8.

Пазовые лотки используют для подачи заготовок с буртом в положении, показанном на рис. 9.

В пазовом лотке заготовок, центр тяжести которых расположен вне направляющих лотка, проходимость обеспечивается, если выполняется неравенство:

для заготовок с круглым буртом

$$k_3 f < \frac{D\left[1+\sqrt{1-\left(\frac{d}{D}\right)^2}-\frac{2h}{D}\operatorname{tg}\alpha_1\right]}{4l\left[1+\frac{D}{2r}\operatorname{tg}\alpha_1\right]};$$

для ступенчатых валиков с двумя уступами

$$k_3 f < \frac{D\left[\sqrt{1-\left(\frac{d}{D}\right)^2}+\sqrt{1-\left(\frac{d_1}{D}\right)^2}-\frac{2h}{D}\operatorname{tg}\alpha_2\right]}{4l\left[1+\frac{D\sqrt{1-\left(\frac{d_1}{D}\right)^2}}{2l}\operatorname{tg}\alpha_2\right]};$$

для заготовок с квадратным буртом

$$k_3 f < \frac{b\left(1-\frac{h}{b}\operatorname{tg}\alpha_3\right)}{2l\left(1+\frac{b}{2l}\operatorname{tg}\alpha_3\right)};$$

где $\operatorname{tg}\alpha_1 = \dfrac{\Delta H+\Delta h+C_1}{D}$; $\operatorname{tg}\alpha_2 = \dfrac{\Delta H+\Delta h+C_1}{D\sqrt{1-\left(\frac{d}{D}\right)^2}}$; $\operatorname{tg}\alpha_3 = \dfrac{\Delta H+\Delta h+C_1}{b}$; ΔH—допуск на высоту направляющей части лотка; Δh — допуск на высоту головки заготовки; C_1 — зазор между стенкой лотка и заготовкой, $k_3 = 1{,}2 \div 1{,}5$ — коэффициент запаса.

Для ориентировочных расчетов значения тангенсов углов в приведенных формулах можно принимать равными нулю.

Если размер хвостовика у заготовки значителен, следует предусмотреть у лотка еще одну стенку и транспортировать заготовку головкой вниз (рис. 9, *г*). В этом случае углы γ_1 и γ_2 должны быть больше угла трения.

Р о л и к о в ы е л о т к и (рис. 10, *а*) используют главным образом для межстаночного транспортирования заготовок типа стержней. Основные формы роликов приведены на рис. 10, *б*. Размеры роликов и роликовых лотков следующие: $d_0 \leqslant 0{,}1D_p$; $D_0 = 0{,}9\dfrac{L}{2}$; $D_p = D_0 - 2(R - \sqrt{R^2 - r^2})$; $C = R - \sqrt{R^2 - r^2}$, где L — расчетная длина заготовки, D_0—диаметр ролика по закраинам, D_p—внутренний диаметр ролика, $R = 0{,}7\dfrac{d}{2}$ — радиус выемки желобка ролика; r — радиус заготовки, C — углубление; n_0 — число роликов, на которые опирается заготовка.

Ширину лотка выбирают конструктивно, а шаг между роликами $t \approx 0{,}95\dfrac{L}{2}$.

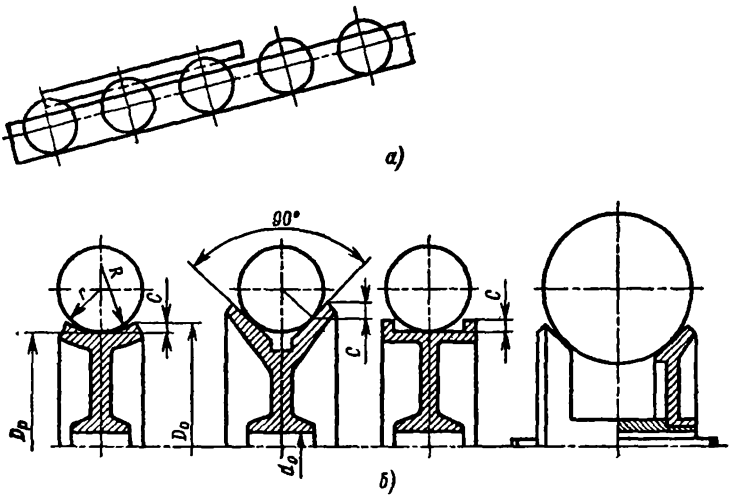


Рис. 10. Роликовый лоток:
а — схема; б — форма роликов

Роликовые лотки выполняют как со свободно вращающимися, так и с приводными роликами В машиностроении предпочтительнее применять первые.

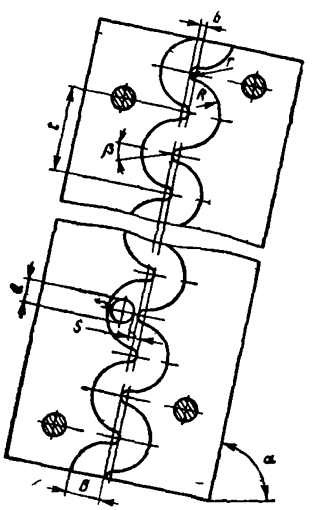


Рис. 11. Змейковый лоток

Змейковые лотки (накопители) (рис. 11) используют для исключения поворота гладких и ступенчатых валиков, цилиндрических колпачков, длина которых в 4 раза и более больше диаметра при условии, что направление перемещения перпендикулярно оси заготовки. Расчет лотка производят по формулам [9] $R = r + d + S$; $t = 2(d + S + 2r)\sqrt{1 - \sin^2\beta}$, где $\beta_{max} = \left[(\rho + \alpha)\ \text{arcsin}\ \frac{r+1}{d+S+2r}\right]$; $\rho = \text{arctg}\, f$.

Расстояние между линиями, проходящими через центры кривизны цилиндрических поверхностей, $b = (d + S + 2r)\sin\beta$, а ширина лотка — расстояние между боковыми стенками $B = L\sqrt{1 + \left(\frac{d}{L}\right)^2} + (0{,}5 \div 1)$, где L — длина подаваемой заготовки, r — радиус выпуклой поверхности, S —

зазор между заготовкой и направляющими поверхностями лотка; α — угол наклона лотка к горизонту; R — радиус кривизны вогнутой поверхности, t — шаг змейки; β — угол наклона касательной в точках сопряжения поверхностей профиля канала лотка, °; ρ — угол трения пары.

Радиус кривизны r выпуклой цилиндрической поверхности канала лотка-змейки и зависимости от диаметра подаваемой заготовки имеет следующие значения, мм

Диаметр заготовки	До 5	5—10	10—16	16—25	25—40
Радиус кривизны	0,5	1,0	1,2	1,6	2,5

Зазор, а значит и проходимость заготовки, определяют опытным путем или по номограмме [9].

Спиральные лотки При проектировании спиральных лотков определяют ширину, радиус лотка и шаг винтовой линии (рис. 12). Центральный угол φ определяется из выражения $\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}=\frac{d_2-d_1}{2l_1}$.

Радиус внутренней окружности лотка $r=\frac{d_1}{2}\operatorname{ctg}\frac{\varphi}{2}=\frac{d_1 l_1}{d_2-d_1}$. Ширина лотка $B=l_2+h+\Delta=l_2+R\left(1-\cos\frac{\varphi}{2}\right)+\Delta$, где Δ — зазор (определяется по формулам для обычных лотков)

Радиус наружной окружности лотка $R=B+r=l_2+R\left(1-\cos\frac{\varphi}{2}\right)+\Delta+r$.

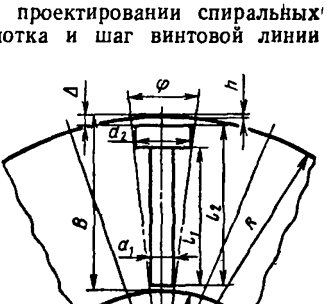


Рис. 12. Спиральный лоток

Шаг винтовой линии S находится из выражения $2\pi R\operatorname{tg}\gamma_{\min}\leqslant S\geqslant qD_{\max}$.

Условия перемещения заготовки по винтовой поверхности: $\operatorname{tg}\gamma=\frac{S}{2\pi R}\geqslant\operatorname{tg}\rho=f$, где $\gamma_{\min}$ — наименьшее допустимое значение угла наклона лотка, °, $D_{\max}$ — наибольший диаметр транспортируемой заготовки, мм, q — коэффициент, учитывающий толщину дна лотка.

Трубчатые магазины изготовляют жесткими и витыми (рис. 13, *а* и *б*); они могут быть прямыми или изогнутыми (рис. 13, *в*). Размеры трубчатых магазинов (мм) рассчитывают по приведенным далее формулам.

Внутренний диаметр прямого участка магазина $d_1=d+\Delta d_1$.

Внутренний диаметр изогнутого участка магазина

$$d_2=\frac{l^2+4d\left(2r_{\text{ср}}+d\right)}{4\left(2r_{\text{ср}}+d\right)}.$$

Средний радиус изгиба жесткого трубчатого магазина

$$r'_{ср} \geqslant \frac{l^2 - 4d(d_2 - d)}{8(d_2 - d)}.$$

Стрелка дуги изгиба на длине l

$$\Delta_2 = r_н - 0{,}5\sqrt{4(r'_{ср})^2 - l^2}.$$

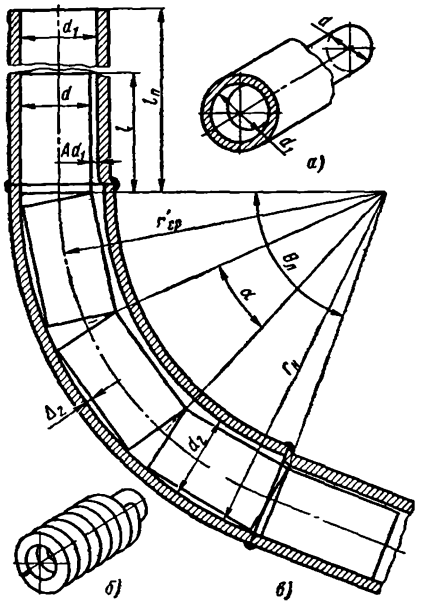


Рис. 13. Трубчатые магазины:
а — жесткие; *б* — витые; *в* — схема изогнутого магазина

В формулах приняты следующие обозначения: $\Delta d_1 = 0{,}5 \div 0{,}9$ мм—зазор; d — диаметр подаваемой заготов-

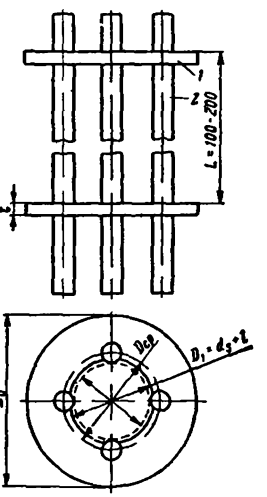


Рис. 14. Стержневой магазин

ки, мм; l — длина заготовки, мм; $r'_{ср}$ — средний радиус изгиба магазина, мм (наименьший $r'_{ср} \geqslant 3l$); $r_н$ — наружный радиус изгиба, мм [для трубчатых жестких магазинов $r_н = (3 \div 5)\,l$, для трубчатых витых $r_н = (5 \div 7)\,l$ и для трубчатых стержневых $r_н = (4 \div 6)\,l$].

Трубчатые гибкие магазины изготовляют из проволоки диаметром 0,5—1 мм с шагом спирали 4—6 мм. Трубчатые жесткие магазины изготовляют из труб с толщиной стенки не более 2 мм.

К трубчатым магазинам можно отнести стержневые магазины (рис. 14). Стержни *2* с обоймами *1* скрепляют пайкой. Число стержней в зависимости от диаметра d_3 подаваемой заготовки — от 4 до 10. Диаметр стержней $d = 1 \div 3$ мм. Наружный диаметр обоймы $D_0 = d_3 + (8 \div 10)$, а толщина $t = 3 \div 4$ мм; внутренний диаметр обоймы $D_1 = d_3 + 1$ мм.

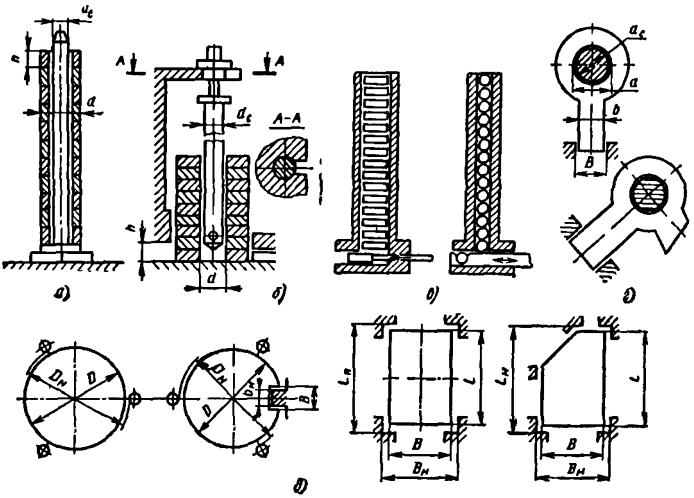


Рис. 15. Магазины:

а — стержневой с выдачей заготовок сверху; *б* — стержневой с выдачей заготовок снизу; *в* — шахтные; *г* — базирование заготовок в стержневом магазине; *д* — базирование заготовок в шахтном магазине

Шахтные и стержневые магазины. В шахтных и стержневых магазинах заготовки могут выдаваться сверху или снизу. Принципиальные схемы магазинов показаны на рис. 15. Расчет размеров этих магазинов производится по приведенным далее формулам.

Диаметр стержня для магазина с выдачей заготовок сверху

$$d_c = d_н - c = d_н - d\left(1 - \frac{\sqrt{1+\left(\frac{h}{d}\right)^2}}{\sqrt{f^2+1}}\right).$$

Диаметр стержня для магазина с выдачей заготовок снизу $d'_c = d - 1$.

Ширина канала при базировании заготовок по стержню и внешнему контуру $B = b + d\left(1 - \frac{\sqrt{1+\left(\frac{h}{d}\right)^2}}{\sqrt{f^2+1}}\right)$.

Зазор между опорной поверхностью и передней стенкой магазина $h = (1{,}5 \div 1{,}8)\,t$.

Расстояние между направляющими шахтного магазина $B_н = B \pm$

$$\pm B\left(1 - \frac{\sqrt{1+\left(\frac{h}{d}\right)^2}}{\sqrt{f^2+1}}\right) = B \pm c_в.$$

В формулах приняты следующие обозначения. d_c — номинальный диаметр стержня, $d_н$ — наименьший диаметр отверстия в заготовке; d — номинальный диаметр отверстия в заготовке; h — толщина заготовки; c — наименьший зазор между заготовкой и стержнем; $B_н$ — номинальный размер канала (длина, ширина, диаметр и т. д.), определяющий взаимное положение направляющих поверхностей магазина; B — наибольший предельный диаметр поверхности (или наибольший предельный размер между поверхностями), по которой (которым) осуществляется базирование заготовки в магазине; $c_в$ — зазор между заготовкой и направляющими поверхностями магазина; $f = 0{,}25 \div 0{,}30$ — коэффициент трения между заготовкой и направляющими магазина.

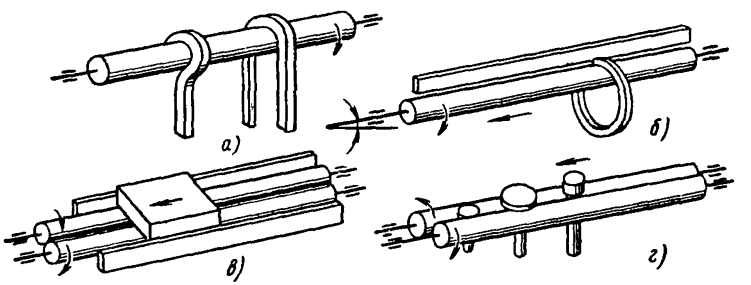


Рис. 16. Полусамотечные магазины:

а — для скоб, *б* — для поршневых колец, *в* — для призматических заготовок, *г* — для стержней с буртами и конических роликов

Знак «+» в формуле для расчета параметра $B_н$ соответствует случаю, когда направляющие поверхности магазина являются охватывающими, а «—», когда направляющие поверхности — охватываемые относительно базовых поверхностей заготовки

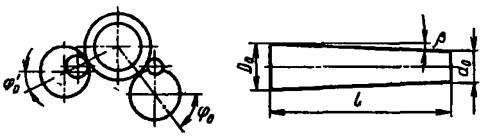
Полусамотечные магазины и транспортные устройства по способу транспортирования разделяют на механические и пневматические. Заготовки перемещаются самотеком при угле наклона поверхности, по которой перемещаются заготовки, меньшем угла трения. Уменьшение силы трения между поверхностями скольжения достигается благодаря поперечному колебанию или равномерному движению несущей поверхности, или образовавшейся между поверхностями скольжения заготовки и лотка воздушной подушке.

Механические полусамотечные магазины и транспортные устройства. На рис. 16 показаны схемы наиболее распространенных полусамотечных магазинов

Полусамотечные валковые загрузочные магазины применяют для заготовок с массой 0,1—0,5 кг. Эти магазины не следует применять для окончательно обработанных деталей, так как на поверхности последних остаются следы натиров. Валки изготовляют из стали и закаливают до твердости *HRC* 56—60, параметр шероховатости поверхности валков должен быть $Ra = 1{,}25 \div 0{,}32$ мкм, угол наклона валков $\gamma = 2 \div 3{,}5°$.

Двухвалковые магазины широко применяют для подачи колец на бесцентрово-шлифовальные станки, конических роликов и цилиндрических стержней с головками. Валковые магазины для подачи колец

5. Основные параметры двухвалковых магазинов



Валки	Угол контакта, φ_0,	Угол наклона валка γ	Диаметры валков D_0 (мм) для заготовок диаметром, мм		
			50	50—150	150—300
Цилиндрические	30—45	0—2°	30—60	60—90	70—100
Конические	25—45	0—2° 30′	40—70	80—100	100—150
Гиперболоидные					

Примечания: 1. Длину валков l принимают от 500 до 1500 мм. 2. Угол β у конических валков принимают от 1° до 1° 30′. 3. Угол контакта $\varphi_0 = 50 \div 75°$

выполняют с двумя цилиндрическими валками, одним цилиндрическим и одним коническим, двумя коническими и двумя гиперболоидными.

Основные параметры валковых магазинов приведены в табл. 5.

Режим работы валковых магазинов рассчитывают по формулам, приведенным в табл. 6.

Пневматические лотки (рис. 17) применяют для заготовок: а) у которых поверхности скольжения имеют гальваническое по-

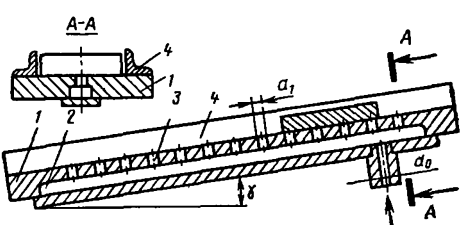


Рис. 17. Полусамотечный пневматический лоток:

1 — основание; *2* — канал; *3* — отверстия; *4* — боковые стенки

крытие (хромированы, никелированы и т. п.); б) из материала с высокими фрикционными свойствами (резина, пластмассы, керамика и т. п.); в) перемещаемых с малыми скоростями.

Расчет пневматических лотков производится по формулам, предложенным В. К. Битюковым. Для того чтобы заготовка оторвалась

6. Режим работы валковых магазинов

Параметры	Валки	
	цилиндрический	конический и гиперболоидной
Частота вращения валков для свободного потока n, об/мин	$n = \dfrac{v_{n\text{ц}}}{\pi D_0 \eta \operatorname{tg}\alpha}$	$n = \dfrac{v_{n\text{к}}}{\eta\pi (D_0 - l \operatorname{tg}\beta) \sqrt{\operatorname{tg}^2\alpha - \operatorname{tg}^2\beta}}$
Частота вращения валков для потока с внешним осевым сопротивлением n, об/мин	$n = \dfrac{v_{n\text{ц}}}{\eta\pi D_0 \operatorname{tg}\alpha \left(1 - \dfrac{P_{\text{ос}}}{P_{\max}}\right)}$	$n = \dfrac{v_{n\text{к}}}{\eta\pi (D_0 - l \operatorname{tg}\beta) \times \sqrt{(\operatorname{tg}^2\alpha - \operatorname{tg}^2\beta)\left(1 - \dfrac{P_{\text{ос}}}{P_{\max}}\right)}}$
Подпор $P_{\max}$, кгс	$P_{\text{ц}\max} = \dfrac{f' G l \cos\varphi_0}{\sin\left(\varphi_0 + \varphi_0' - \theta_{\text{ср.ц}}\right)}$	$P_{\text{к}\max} = \dfrac{f G l \cos\varphi_0''}{\sin\left(\varphi_0 + \varphi_0' - \theta_{\text{ср.к}}\right)}$

Параметры	Валки	
	цилиндрический	конический и гиперболоидный
Потребная мощность N, кВт	$N = k\,\frac{\pi D_0 n G i f'}{60 \cdot 102 \cdot 1000}$	
Угол β, °	0	1—1° 30′
Длина l, мм	500—1500	
Угол наклона валка α	0—2°	0÷2° 30′

Примечания: 1. Рекомендуется привод серии ПМС с асинхронной муфтой скольжения и центробежным регулятором скорости.

2. Скорости $v_{пк}$ и $v_{пц}$ определяются режимами шлифования; $\eta \approx 0{,}7$.

3. Угол $\theta_{ср}$ определяют графически.

4. Для гиперболоидных валков угол β условный и определяется из равенства $\operatorname{tg}\beta = \frac{D_0 - d_0}{2l}$.

5. Обозначения: D_0 — диаметр заготовки; $v_{пц}$ и $v_{пк}$ — скорости подачи потока соответственно на цилиндрических, конических или гиперболоидных валках; $P_{ос}$ — осевое сопротивление при шлифовании; P_{max} — максимальная величина подпора; k — коэффициент, учитывающий потери в кинематической цепи; G — масса заготовки; i — количество заготовок; $\theta_{ср} = \theta/2$.

от несущей поверхности пневматического лотка, необходимо выполнить следующее условие:

$$\frac{T}{F} \geqslant \frac{mg}{F} + p_a,$$

где T — несущая способность воздушной подушки (прослойки); F — площадь опорной плоскости заготовки; m — масса заготовки; p_a — атмосферное давление.

Несущая способность воздушной подушки для дисков

$$T = \frac{\pi d^2 p_a^3}{5\left(p_a^2 - p_2^2\right)}\left[1 - \frac{2p_2^2\left(p_a^3 - p_2^3\right)}{3p_a^3\left(p_a^2 - p_2^2\right)}\right];$$

для квадратных и прямоугольных заготовок:

$$T = \frac{2ab\left(p_a^3 - p_2^3\right)}{3\left(p_a^2 - p_2^2\right)},$$

где a и b — размеры сторон заготовки; d — диаметр заготовки; p_2 — давление воздуха после питающего отверстия; $p_2 = 0{,}65\,(p_и + p_a)$ ($p_и$ — избыточное давление).

При параметрах шероховатости поверхности лотка и заготовки $Rz = 40 \div 10$ мкм толщина воздушной подушки $S = 0{,}01 \div 0{,}02$ мм.

Расход воздуха для создания заданной величины воздушной подушки в зависимости от типа подаваемых заготовок рассчитывают по следующим формулам:

для дисков

$$Q_2 = \frac{\pi s^3}{12\eta}\,\frac{p_2^2 - p_a^2}{p_a};$$

для прямоугольных и квадратных пластин

$$Q_2 = \frac{as^3}{6b\eta}\,\frac{p_2^2 - p_a^2}{p_a},$$

где η — коэффициент абсолютной вязкости воздуха.

Давление воздуха в воздухоподводящем канале

$$p_1 = \frac{1}{F}(T - G) + (p_2 - p_a);$$

диаметр питающих отверстий (отверстий на несущей поверхности лотка)

$$d_1 = \sqrt{\frac{s^3\left(p_2^2 - p_a^2\right)}{3\eta u_1 p_a}};$$

диаметр отверстия, подводящего воздух в канал, сообщающийся с питающими отверстиями,

$$d_0 = \sqrt{\frac{\pi s^3}{3\eta u_1}\,\frac{p_2^2 - p_a^2}{p_a}},$$

где u_1 — скорость истечения воздуха через питающее отверстие; n — число питающих отверстий, расположенных на поверхности скольжения.

Питающие отверстия находятся на расстоянии $l = (0{,}6 \div 0{,}75)\, b$ одно от другого, где b — размер заготовки в направлении ее перемещения.

Несущая поверхность пневматического лотка наклонена под углом γ, минимальная величина которого рассчитывается по формулам:

для дисков

$$\sin\gamma = \frac{\pi d s}{6G}\left(\frac{2p_2^2}{p_a + p_2} - p_a\right);$$

для квадратных и прямоугольных пластин

$$\sin\gamma = \frac{as}{G}(p_2 - p_a).$$

Принудительные лотки, чаще называемые магазинными транспортными устройствами, нашли широкое применение для автоматизации загрузки станков и особенно автоматических линий.

Винтовые магазинно-транспортные устройства бывают двух- и одновинтовыми. Схема двухвинтового устройства показана на рис. 18. При перемещении цилиндрических заго-

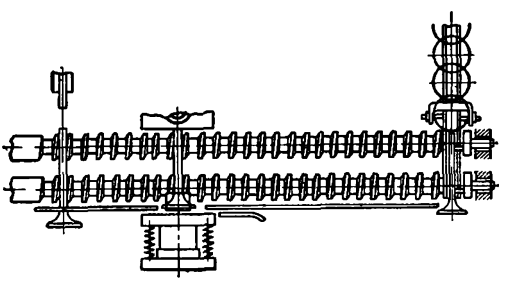


Рис. 18. Винтовое магазинно-транспортное устройство (заготовка расположена поперек винтов)

товок вдоль оси выступы нарезки одного винта свободно входят в пазы другого. Винты вращаются в разные стороны. Шаг спирали $t = L_{max} + b + (2 \div 6)$ мм, где L_{max} — наибольшая длина заготовки; b — толщина выступов нарезки (принимается в зависимости от диаметра заготовки равной 2—4 мм). Диаметры винтов выбирают в зависимости от диаметра заготовки: при $d \leqslant 6$ мм $D = 50$ мм, а при $d = 6 \div 25$ мм $D = 80$ мм.

Скорость подачи винтовым устройством $v_п = n_п t$, где $n_п$ — частота вращения винтов, об/мин; t — шаг спирали, мм. Если винтовой магазин устанавливают на бесцентрово-шлифовальном станке, то минутная подача при бесцентровом шлифовании и скорость подачи винтовым питателем должны быть согласованы. В этом случае частота вращения винтов питателя $n_п = \dfrac{\pi D_{в.к} k \sin\alpha n_{в.к}}{t}$, где $D_{в.к}$, $n_{в.к}$ — соответственно

диаметр и частота вращения ведущего круга; α — угол наклона оси ведущего круга; k — коэффициент скольжения в направлении оси.

При подаче заготовок, расположенных поперек оси, винты устройства вращаются в разные стороны. Устройство снабжено боковыми направляющими. Диаметры винтов и шаг их выбирается в зависимости от размеров заготовки и необходимой скорости перемещения. Профиль нарезки выполняется по форме поперечного сечения заготовки. Расстоя-

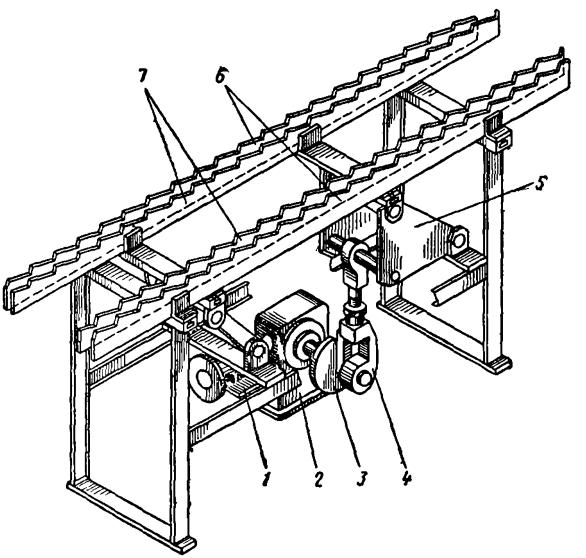


Рис. 19. Пилообразное магазинно-транспортное устройство:

1 — электродвигатель; *2* — редуктор; *3* — кривошип, *4* — рычаг; *5* — четырехзвенник; *6* — подвижные гребенки, *7* — неподвижные гребенки

ние между винтами выбирают такое, чтобы заготовка (с учетом положения центра тяжести) занимала в процессе движения устойчивое положение.

Одновинтовые загрузочные устройства используют для подачи заготовок, допускающих подвешивание (скоб, колец и др.). Винты, осуществляющие перемещения заготовок в этих устройствах, бывают жесткими и гибкими, целыми и составными.

Пилообразные магазинно-транспортные устройства (рис. 19) используют для подачи заготовок типа вала. Транспортирование заготовок осуществляют гребенки, получающие перемещения от электродвигателя через редуктор, кривошип и шарнирный четырехзвенник [2].

Схема работы магазина показана на рис. 20. В исходном положении (рис. 20, *а*) заготовки (валики) находятся на двух неподвижных гребенках *1*. При движении вверх (рис. 20, *б*) подвижные гребенки *2* поднимают заготовки, которые затем скатываются по граням гребенок вниз до упора

в ребра, переходя из положения *I* в положение *II*. Далее, при движении подвижных гребенок до упора (рис. 20, *в*) заготовки занимают положение *III*. Таким образом происходит перемещение транспортируемых заготовок на один шаг. Если заготовки, находящиеся на ступенях неподвижных гребенок, занимают грань полностью, то при движении подвижных гребенок вверх транспортируемая заготовка из положения *IV* поднимается в положение *V*, упирается в заготовку и дальше не переме-

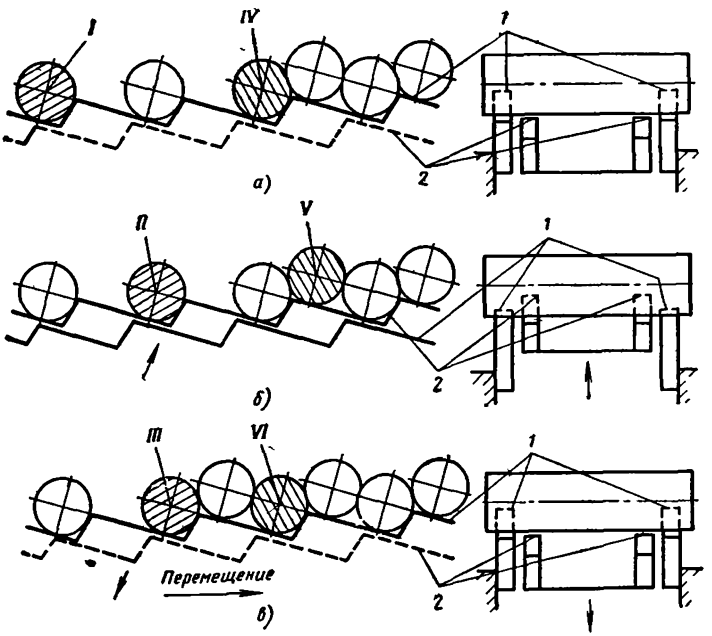


Рис. 20. Схема работы устройства, показанного на рис. 19

щается. При движении подвижных гребенок заготовка возвращается в положение *IV*, и заготовки накапливаются на транспортере.

На рис. 21 показаны наиболее характерные варианты транспортирования заготовок: транспортирование и накопление по одному диаметру заготовки (рис. 21, *а*); смешанное транспортирование по двум различным диаметрам заготовки, накопление по большому диаметру (рис. 21, *б*); смешанное транспортирование и накопление по различным диаметрам заготовки (рис. 21, *в*).

При построении профиля гребенок в первую очередь определяют размеры шеек заготовки, по которым будет осуществляться транспортирование и накопление. После этого в зависимости от конструкции заготовки определяют вариант их транспортирования и накопления.

Расчеты гребенок выполняют по следующим данным для трех вариантов транспортирования заготовок: для всех трех вариантов $l =$

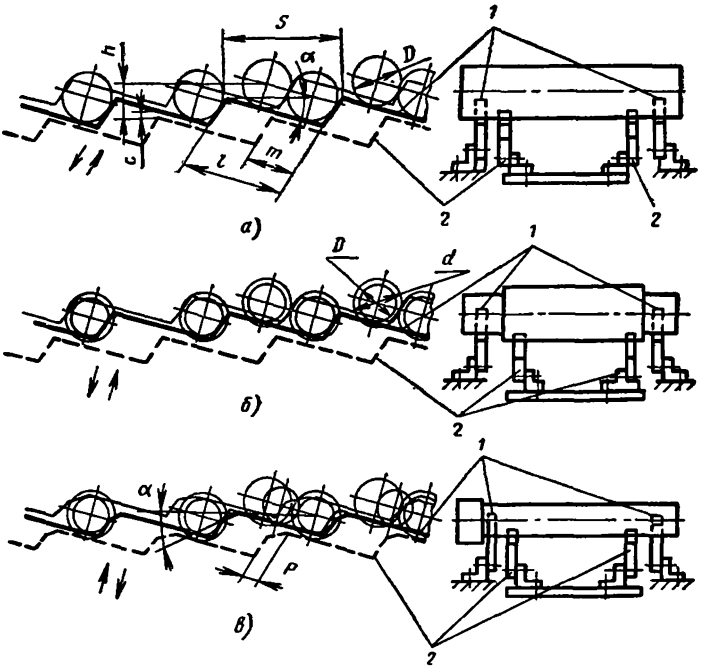


Рис. 21. Схема работы пилообразного магазинно-транспортного устройства для различных видов валов:

1 — неподвижные гребенки; *2* — подвижные гребенки

$= D + \frac{D}{\cos\alpha}$; $\alpha = 15 \div 20°$; $h = l \sin\alpha + 2C$; для 1-го и 2-го вариантов $s = l \sin(180° - \alpha)$, для 3-го варианта $s = l \sin(120° - \alpha)$; для 1-го и 3-го вариантов $m = D$, для 2-го варианта $m = D + d$; для 3-го варианта $\alpha = 15 \div 20°$, $P = D - d$.

Перебег подвижных гребенок $C = 1 \div 3$ мм. Угол, образованный ребром гребенки с горизонтальной плоскостью, для спроектированного магазина принимают постоянным и равным 60°.

МАГАЗИНЫ-НАКОПИТЕЛИ

Для определения параметров накопителя, связывающего в бункерных загрузочных устройствах механизм ориентации и питатель, необходимо знать количество заготовок, обеспечивающих бесперебойную работу станка. При определении количества заготовок в накопителе пользуются решением задачи «случайного блуждания с отражающими экранами» в теории случайных процессов [7, 13].

БУНКЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА

Бункера обеспечивают: а) запас заготовок в количестве, необходимом для непрерывной работы механизма ориентации в течение заданного промежутка времени без пополнения; б) подготовку заготовок к захвату, а значит и ориентированию. В бункер заготовки загружают навалом.

Наибольшее распространение получили бункера ковшеобразные, имеющие форму цилиндра, конуса или усеченного цилиндра (рис. 22). Бункера могут иметь одну емкость для накопления и захвата заготовок (рис. 22, *а*) и две емкости — предбункер *1*, служащий для накопления основного запаса заготовок, и собственно бункер *2* (рис. 22, *б*).

Объем бункера рассчитывают по формуле $V_б = \frac{V_з T}{tq} = \frac{V_з T Q_{ср}}{q}$, где $V_з$ — объем заготовки, см³; T — период времени непрерывной работы загрузочного устройства при одной заправке бункера (без досыпки),

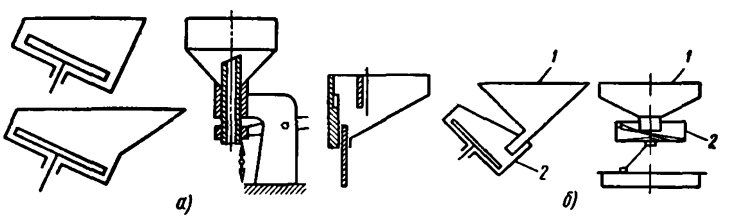


Рис. 22. Бункера:
а — с одной емкостью; *б* — с двумя емкостями

мин; t — штучное время обработки, мин; q — коэффициент объемного заполнения; $Q_{ср}$ — средняя производительность загрузочного устройства, шт/мин.

Коэффициент объемного заполнения q зависит от конфигурации и размеров заготовок; его определяют экспериментально. Для простых по форме заготовок $q = 0{,}4 \div 0{,}6$.

Механизмы ориентации. Производительность механизмов ориентации бункерных загрузочных устройств $Q_{ср}$ должна несколько превышать потребность станка в заготовке $Q_{ст}$, т. е. $Q_{ср} > Q_{ст}$.

Заготовки из механизма ориентации выдаются поштучно, порциями и непрерывно. Производительность механизмов ориентации в зависимости от способа выдачи заготовок рассчитывается по следующим формулам.

Для поштучной выдачи	$Q_{ср} = kzn$;
Для порционной выдачи	$Q_{ср} = kzmn$;
Для непрерывной выдачи	$Q_{ср} = k\frac{v}{l}$.

В формулах приняты обозначения: $Q_{ср}$ — средняя производительность механизма ориентации, шт/мин; z — число захватывающих элементов (крючков, карманов и т. д.), принимающих участие в одном цикле работы (один оборот, один двойной ход); n — число циклов (оборотов, двойных ходов) в 1 мин; m — число заготовок, которые могут быть захва-

чены одним элементом; v — средняя скорость движения заготовок, м/мин; l — длина заготовки в направлении движения заготовок, мм; k — коэффициент захвата. Экспериментальные данные по коэффициенту k см. в работе [13].

Автоматическое ориентирование бывает первичное и вторичное.

Первичное ориентирование — часть процесса автоматического ориентирования, в течение которого загружаемые заготовки переводятся из хаотического состояния в любое определенное и устойчивое положение относительно ориентирующих поверхностей.

Вторичное ориентирование — часть процесса автоматического ориентирования, в течение которого неправильно ориентированные заготовки отсеиваются или переводятся из начального определенного устойчивого положения в другое устойчивое положение до тех пор, пока заготовка не будет переведена в какое-либо одно заданное положение.

Вторичное ориентирование может осуществляться в самих захватных органах, в приемнике механизма ориентации или в отдельном дополнительном устройстве (селекторе).

Автоматическое ориентирование включает опознавание положения подаваемой заготовки и активное или пассивное изменение ее ориентации.

Автоматическое ориентирование может быть пассивным, при котором заготовки, занявшие положение в рабочем органе механизма ориентации, отличное от требуемого, сбрасываются в бункер, и активным, когда в ориентирующих устройствах создаются условия для перевода всех возможных различимых положений заготовки в одно заданное.

Примеры пассивного и активного ориентирования в механизмах ориентации приведены в работах [6, 8, 13, 14].

Для правильного решения задачи ориентирования в механизмах ориентации механического действия рекомендуется воспользоваться табл. 7 в работе [14].

Бесконтактное ориентирование заготовок — ориентирование в электромагнитном поле. Сущность ориентирования заготовок в электромагнитном поле заключается в приобретении заготовкой в этом поле определенного положения, обусловливаемого направлением электродинамических сил, воздействующих на нее.

Различают три вида электромагнитного поля — магнитостатическое и постоянное пульсирующее магнитное поле, электрическое и переменное магнитное. В магнитостатическом и постоянном пульсирующем магнитном поле могут ориентироваться заготовки удлиненной формы из ферромагнитных токопроводящих материалов, в электрическом поле — кроме таких, еще и заготовки из немагнитных токопроводящих материалов и диэлектриков, а в переменном высокочастотном магнитном поле — заготовки из ферромагнитных и немагнитных токопроводящих материалов.

Одно из основных преимуществ электромагнитного поля — возможность ориентирования заготовок, не имеющих различных внешних признаков, но имеющих различные электрические или магнитные свойства по сравнению со свойствами электромагнитных ориентирующих элементов.

Производительность электромагнитных ориентирующих устройств рассчитывают по формулам работы [13]

У ориентирующего устройства с непрерывным транспортированием заготовок $Q = 38{,}22 \frac{L_{op}}{h_т} \sqrt{\frac{M_{max}}{J}}$.

У ориентирующего устройства дискретного типа $Q = \frac{60}{t_п + t_{ср} + t_в}$.

Время ориентирования в электромагнитном поле $t_{op} = \frac{\pi}{2\sqrt{\frac{M_{max}}{J}}}$,

где $h_т$ — шаг между заготовками; L_{op} — протяженность поля; M_{max} — момент электромагнитных сил, соответствующий положению заготовки в поле под углом $\alpha = 45°$ к вектору напряженности; J — момент инерции заготовки относительно оси, вокруг которой происходит поворот заготовки; $t_п$ — время подачи заготовки на ориентирующую позицию;

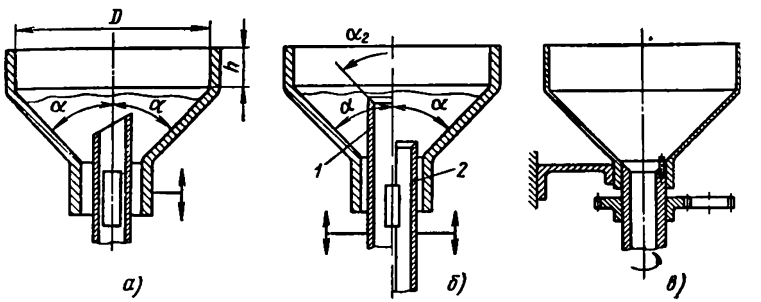


Рис. 23. Механизмы ориентации с трубками:

а — трубка совершает возвратно-поступательное движение; *б* — ползуны совершают возвратно-поступательное движение; *в* — с вращающейся трубкой

t_{op} — время ориентирования заготовки; $t_в$ — время выдачи заготовки с ориентирующей позиции.

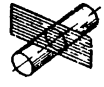
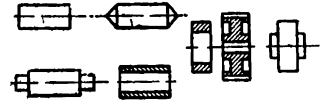
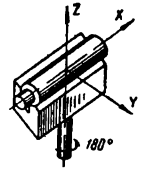
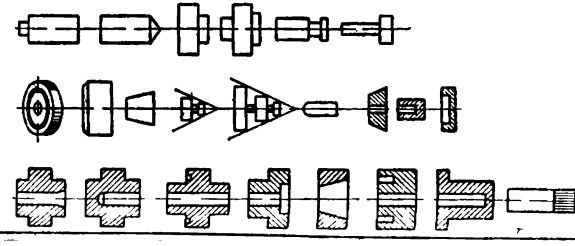
Сведения о конструировании электромагнитных ориентирующих устройств приведены в работе [13].

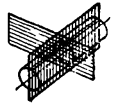
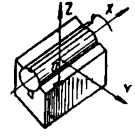
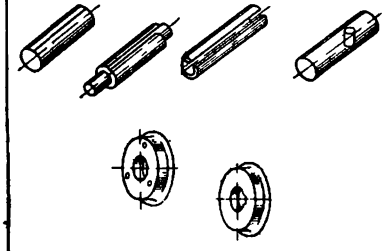
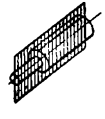
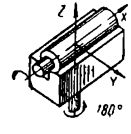
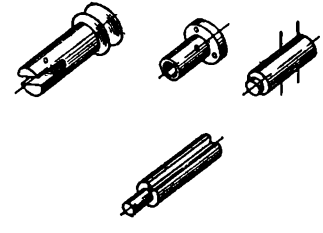
Типовые конструкции бункерных загрузочных устройств (механизмов ориентации). Получили применение конструкции механизмов ориентации, которые можно объединить в два класса: механизмы ориентации с подвижными органами захвата и вибрационные механизмы ориентации.

Механизмы ориентации с трубками. Механизмы ориентации с трубкой, совершающей возвратно-поступательное движение (рис. 23, *а*), применяют для мелких заготовок типа шариков с $d < 20$ мм, валиков и втулок с $d \leqslant 15$ мм и $l = (1{,}1 \div 1{,}25)\, d$. Бункер выполняют в виде усеченного конуса; диаметр бункера $D = (10 \div 15)\, l$, глубина бункера $h = (0{,}3 \div 0{,}5)\, D$. Угол зева конической части бункера $\alpha = 40 \div 50°$; число двойных ходов трубки $n = 50 \div 80$ в 1 мин.; ход трубки $s = (1{,}2 \div 1{,}7)\, l$.

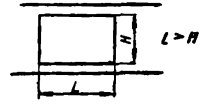
К этой же категории механизмов относятся также механизмы ориентации с возвратно-поступательным движением ползунов (рис. 23, *б*).

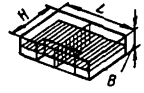
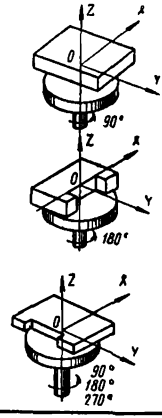
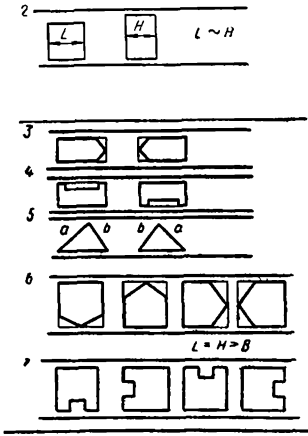
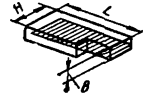
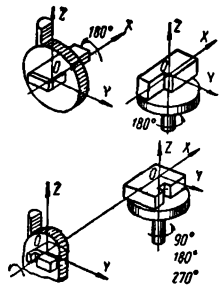
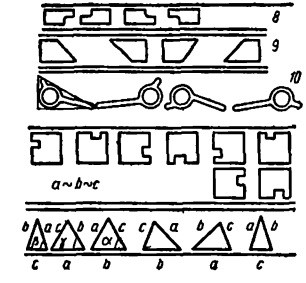
7. Классификация заготовок для автоматического ориентирования

Класс	Характеристика заготовки	Вторичное ориентирование	Положение заготовки	Порядок ориентирования
		Заготовки формы тел вращения		
I	Симметричная, т. е. имеющая кроме оси вращения (ось симметрии) плоскость симметрии, перпендикулярную оси 	Не требуется		Совместить ось вращения с одной из координат (осью *X*)
II	Имеет только ось вращения 		Совместить ось вращения с одной из координат, а в случае необходимости вторичного ориентирования повернуть заготовку в горизонтальной плоскости *XOY* на 180° 	

III	Имеет две плоскости симметрии: проходящую через ось вращения и перпендикулярную к оси 			Совместить ось вращения заготовки с осью *X* (первичное ориентирование) и повернуть заготовку в плоскости *ZOY*, перпендикулярной оси (вторичное ориентирование)
IV	Имеет одну плоскость симметрии, проходящую через ось вращения 			Три ступени ориентирования, совместить ось вращения заготовки с осью *X* (первичное ориентирование), повернуть ее в горизонтальной плоскости *XOY* на 180° (первая ступень вторичного ориентирования) и повернуть ее на некоторый угол в плоскости, перпендикулярной к оси *OY* (вторая ступень вторичного ориентирования)

Продолжение табл. 7

Класс	Характеристика заготовки	Вторичное ориентирование	Положение заготовки	Порядок ориентирования
		Плоские заготовки		
V	Имеет три плоскости симметрии, у которых все три координатных размера существенно отличаются друг от друга:  $L > H > B$	—	 	Одна ступень ориентирования

VI	Имеет две плоскости симметрии и три плоскости симметрии, но два близких или равных координатных размера  $L > H > B$			Заготовки поворачивают в одной плоскости на один угол (90 или 180°), т. е. необходимо вторичное ориентирование
VII	Имеет две плоскости симметрии с двумя близкими координатными размерами 			Заготовки поворачивают в одной плоскости *ZOY* на разные углы (90, 180, 270°), т. е. необходимо вторичное ориентирование

Продолжение табл. 7

Класс	Характеристика заготовки	Вторичное ориентирование	Положение заготовки	Порядок ориентирования
VIII	Имеет одну плоскость симметрии, у которой все три координаты отличаются друг от друга; $L > H > B$	—	—	Заготовки поворачивают в двух координатных плоскостях на постоянный угол, т. е. необходимо вторичное ориентирование
IX	Имеет одну плоскость симметрии с двумя близкими координатными размерами	—	—	Заготовки поворачивают в двух координатных плоскостях; в одной на постоянный угол, в другой — на разные углы (90, 180, 270°), т. е. необходима вторичная ориентация

Примечания. 1. В таблицу включены только наиболее часто встречающиеся заготовки.

2. Заготовки классов VIII и IX трудно поддаются автоматическому ориентированию; наиболее надежный способ вторичного ориентирования для них — контроль положения электроконтактными или иными датчиками с подачей соответствующих команд на повороты в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Ряд таких устройств приведен в литературе [1, 12].

Такие механизмы следует применять для заготовок без окалины и заусенцев, так как направляющие этих механизмов легко засоряются. Эти механизмы применяют для подачи коротких цилиндрических стержней, длина которых незначительно отличается от их диаметра ($0{,}8 < l/d < 1{,}4$); для стержней (игл) с $l/d > 6$ при $d < 3$ мм и стержней с $l/d \leqslant 3$; дисков и шайб. Форма ползунов (полувтулок) *1* и *2* зависит от формы подаваемых заготовок. Угол конуса полувтулок $\alpha_2 = 45°$. Угол наклона стенок корпуса бункера $\alpha = 90° - \rho$, где ρ — угол трения скольжения заготовок (практически $\alpha = 45 \div 55°$).

Диаметр d_1 полувтулок при подаче стержней, по данным В. А. Повидайло, зависит от отношения l/d: при $l/d \geqslant 1{,}7$ $d_1 = 3d + 0{,}2$ мм; при $l/d < 1{,}7$ $d_1 = d + 2b + 0{,}1$ мм, где b — толщина стенок трубки, мм, или $d_1 = d/\cos 30° + 1{,}2d$.

Ход каждой из полувтулок (для шайб l — наружный диаметр) $H = (0{,}8 \div 0{,}9)\, l$.

Максимальное число двойных ходов полувтулок в 1 мин

$$n_{max} = 4000/H.$$

Производительность механизма $Q = \dfrac{60}{\sqrt{\dfrac{2l}{g}}}\,\eta$, причем чем больше l/d, тем больше η (η — коэффициент выдачи). Подобные механизмы используют для колец диаметром до 100 мм и шириной до 30 мм с выдачей колец в положении на ребро [14].

Механизмы захвата и ориентации с вращающейся втулкой (рис. 23, *в*) используют для подачи цилиндрических и конических роликов с $l/d = 1{,}1 \div 3{,}5$ при условии, что $d < 20$ мм и $l < 60$ мм, и колец диаметром до 100 мм при $l = (0{,}2 \div 0{,}4)\, d$. Бункер из листовой стали привинчен (или приварен) к корпусу. Угол наклона дна бункера 45—60°. Внутри корпуса вращается втулка, приводимая в движение от обслуживаемого станка или электродвигателя через ременную передачу, валик и пару зубчатых колес.

Втулка имеет приемный конус с углом наклона образующей, равным 42—45°. В торец втулки вставлен ворошитель.

При проектировании механизмов с вращающейся трубкой для подачи роликов руководствуются следующим.

Производительность механизма зависит от отношения l/d загружаемых заготовок, угла наклона дна бункера, конуса трубки и ее диаметра. Диаметр трубки должен быть таков, чтобы исключался поворот заготовки, при котором возможно заклинивание и одновременное попадание в трубку двух заготовок.

Для заготовок с отношением $l/d < 1{,}7$ диаметр трубки $D = dn_1 \sqrt{\dfrac{(l/d)^2 + 1}{1 + f}}$, где $n_1 = 0{,}9 \div 0{,}95$ — коэффициент надежности; для заготовок с отношением $l/d \geqslant 2{,}4$ $D = 2dn$; для заготовок с отношением $l/d = 1{,}7 \div 2{,}4$ диаметр D рассчитывают по обеим формулам и принимают меньший. Если подаются конические ролики, то в формулах следует принимать $d = d_1 - \beta$, где β — угол конусности заготовки.

Производительность механизмов (шт/мин) с вращающейся трубкой

$$Q = \frac{60}{\sqrt{\dfrac{2l}{g}}}\,\eta \quad (\eta \text{ — КПД передачи}).$$

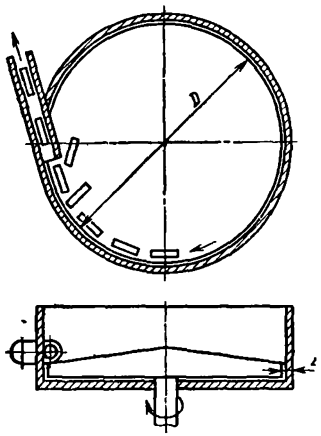


Рис. 24. Фрикционный дисковый механизм ориентации

Фрикционный дисковый механизм ориентации (рис. 24) применяют для валиков, втулок, дисков, колец небольших размеров из любых материалов. Легко перемещаются заготовки типа валиков (втулок) при отношении $l/d = 1{,}5 \div 5$; при $l/d < 1{,}5$ не обеспечивается горизонтальное положение заготовки, а при $l/d > 5$ значительно увеличивается диаметр диска и размер механизма.

Частота вращения диска механизма, подающего заготовки, $n = \frac{Q_1 d}{\eta_1 \pi D_{ср}}$, где Q_1 — число заготовок, которое необходимо подавать; $D_{ср}$ — средний диаметр диска; d — диаметр заготовки; η_1 — коэффициент, учитывающий проскальзывание заготовок, заторы и прочие неполадки.

Для валиков диаметр бункера (мм) $D > (15 \div 20)\, d$, а для колец и дисков $D = (12 \div 15)\, d$. Зазор между диском и стенкой бункера $z = 1 \div 2$ мм.

Дисковый, щелевой механизм ориентации с собачками (рис. 25) предназначен для подачи мелких винтов и подобных им заготовок при условии, что длина стержня менее 50 мм, а диаметр менее 10 мм. Заготовки, засыпанные в бункер, западают в щель. Ширина щели несколько больше, чем наружный диаметр стержня подаваемой заготовки, но меньше диаметра фланца или головки заготовки. При вращении диск (рис. 25, *а*) захватывает подпру-

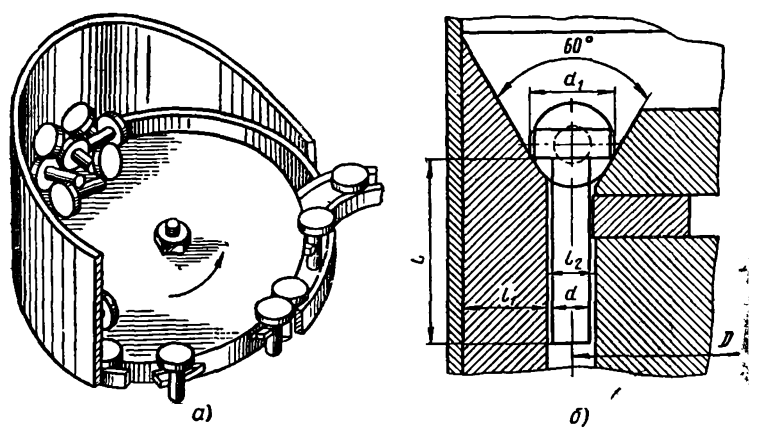


Рис. 25. Схемы дискового щелевого механизма ориентации с собачками: *а* — принципиальная; *б* — расчетная

жиненными собачками висящие на головках заготовки и транспортирует их в приемник, откуда они попадают в накопитель и питатель. Для лучшего западания заготовок в щель бункера на поверхности вращающегося диска устанавливают кнопки (или лопасть) для ворошения заготовок. Если приемник и накопитель заполнены, то подача заготовок прекращается, так как собачки, упираясь в заготовки и поворачиваясь на осях, проскальзывают по заготовкам, хотя диск непрерывно вращается.

Минимальный средний диаметр щели (рис. 25, *б*), мм, $D_{min} > \frac{4l^2}{d} \approx (5 \div 8)\frac{l^2}{d}$; ширина ориентируемой щели, мм, $l_2 = \frac{0{,}85\,(d_1 + d)}{2}$.

Для устранения заклинивания заготовок расстояние от наружного диаметра щелевого кольца до кожуха (толщина конического кольца) следует принимать $l_1 = 1{,}5d$; угол наклона диска 25—30°.

Лопастные механизмы ориентации применяют для подачи гаек, болтов и подобных им заготовок. В механизме ориентации, показанном на рис. 26, заготовки захватываются диском с лопастями, а ориентируются с помощью скосов дна бункера под углом $\alpha = 30 \div 40°$ и приемника. Засыпанные в бункер заготовки (гайки) при вращении дисков захватываются лопастями. Заготовки, занявшие правильное положение

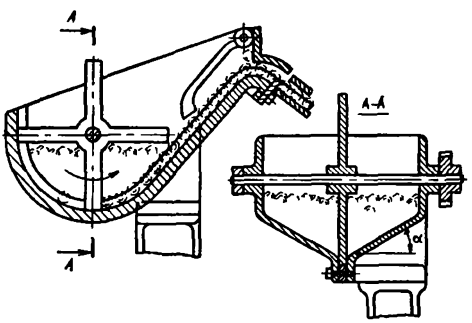


Рис. 26. Лопастный механизм ориентации

(«на ребро»), попадают в приемник, от выпадания из которого предохраняет собачка (защелка), шарнирно-закрепленная на оси.

Дисковые механизмы ориентации (рис. 27) с радиальными пазами по торцу диска или лопастями. В этих механизмах заготовки, попадая в пазы при вращении диска, скользят под действием силы тяжести и выпадают в накопитель. Преждевременное выпадение заготовок из пазов исключено, так как пазы на некоторой части пути диска перекрыты неподвижной планкой *1*.

Механизм ориентации с радиальными пазами на торце диска выполняют как с непрерывным, так и с периодическим поворотом диска. Максимально допустимая скорость диска $v_1 = 60\,(B - d)\sqrt{\frac{6\omega}{l}}$;

$w = g(\cos\alpha - f\sin\alpha)$, где w — ускорение движения заготовки по пазу диска, наклоненного под углом α к горизонту; B — ширина паза накопителя; l и d — соответственно длина и диаметр заготовки.

Когда диск периодически поворачивается, необходимо рассчитывать время выстоя диска. Для работы механизма без заклинивания

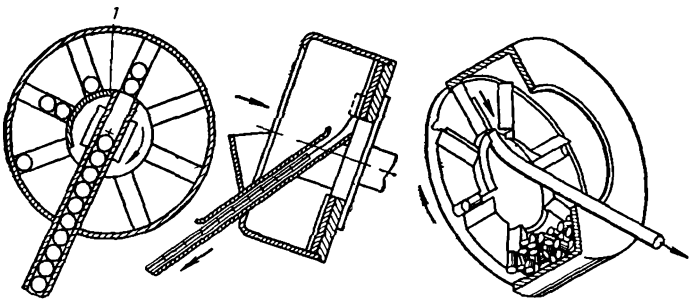


Рис. 27. Дисковый механизм ориентации с радиальными пазами по торцу

необходимо, чтобы время останова было не меньше времени выпадения заготовки в лоток.

Барабанные лопастные механизмы ориентации используют для заготовок длиной $l \geqslant 3d$. Механизм ориентации с горизонтальной осью вращения барабана показан на рис. 28, *а*.

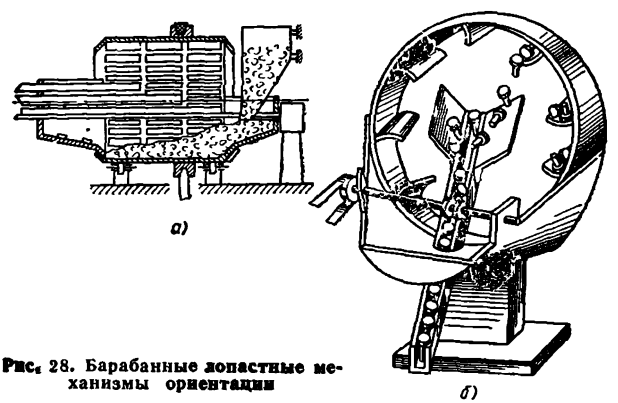


Рис. 28. Барабанные лопастные механизмы ориентации

Заготовки из бункера попадают во вращающийся барабан и лопастями последнего сбрасываются на отводящие вибрирующие лотки. Отводящие лотки установлены параллельно друг другу.

В механизме ориентации, показанном на рис. 28, *б*, барабан вращается в корпусе, заготовки поступают из бункера, захватываются лопастями вращающегося барабана, поднимаются в зону выдачи, падают

на приемник, где они попадают в щель и, повиснув на головках, скользят вниз.

Барабан с лопастями может вращаться непрерывно и прерывисто. Диаметр барабана D и его длину L выбирают в зависимости от длины подаваемых заготовок l:

$$D = (8 \div 10)\, l; \quad L = (5 \div 7)\, l.$$

Для того чтобы заготовки с лопастей падали в лоток, необходимо выполнить следующее условие: $mg \geqslant m\omega^2\rho$, где m — масса заготовки;

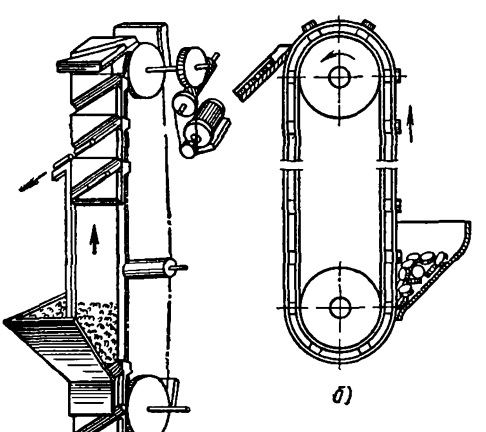


Рис. 29. Механизмы ориентации элеваторные

а) б)

g — ускорение силы тяжести; ω — угловая скорость; ρ — расстояние центра тяжести заготовки от оси вращения.

Угловая скорость, при которой заготовки не будут выпадать из лопастей, $\omega \geqslant \sqrt{\frac{g}{\rho}}$; частота вращения $n \geqslant \frac{30}{\pi}\sqrt{\frac{g}{\rho}}$. При $\rho = R$ (R — расстояние лопастей от оси вращения) $\omega \geqslant \sqrt{\frac{g}{R}}$; $n \geqslant \frac{30}{\pi} \times \times \sqrt{\frac{g}{R}}$.

Положение накопителя относительно оси вращения барабана выбирают в соответствии с траекторией движения заготовок при выпадении их из лопастей. Траектории движения заготовок с лопастей в лоток зависят от радиуса и угловой скорости барабана, коэффициента трения между заготовкой и лопастью, угла наклона лопасти и т. д.

Механизмы захвата и ориентации элеваторного типа. Рабочие органы (лопасти), захватывающие и ориентирующие заготовки, укреплены на бесконечной ленте или цепях (рис. 29, *а*).

Производительность механизма в основном зависит от длины захватных органов (планок) и мало зависит от угла наклона последних.

В работе [9] рекомендуются неравенства, с помощью которых можно определить ширину ленты B: для стержней $(5 \div 6) \geqslant B/l \geqslant (2{,}5 \div 3)$; для колец $(6 \div 7) \geqslant B/d \geqslant (2{,}5 \div 3)$.

Угол наклона захватных органов для стержней 35—45°, а для колец 25—35°; отклонение транспортера от вертикального положения 10—15°.

На производительность влияет также и ширина карманов h, захватывающих заготовки, т. е. расстояние между планками. Величина h

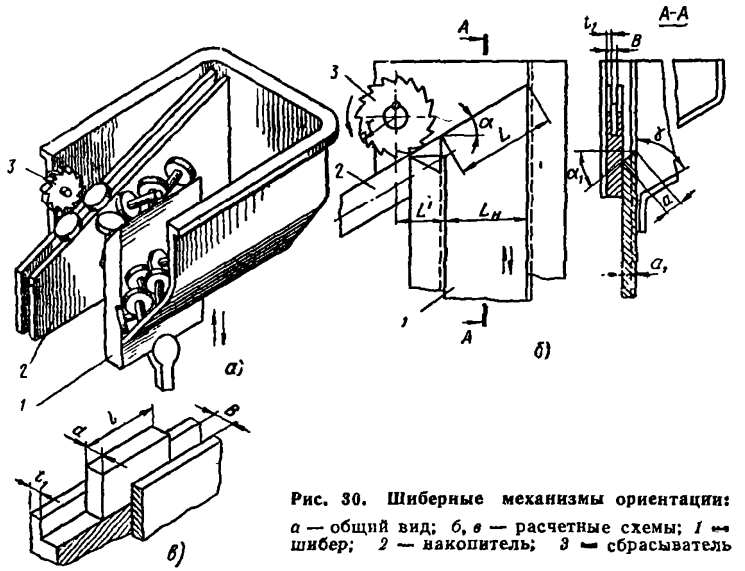


Рис. 30. Шиберные механизмы ориентации:
а — общий вид; б, в — расчетные схемы; 1 — шибер; 2 — накопитель; 3 — сбрасыватель

должна быть такой, чтобы обеспечивался захват только одного ряда заготовок; при $l/d = 0{,}1 \div 0{,}6$ и $\gamma = 4 \div 20°$ $1{,}865 > h/d < 1{,}3 + 1{,}2l/d - 0{,}015$. Разновидность элеваторных механизмов — механизмы, в которых вместо планок для захвата устанавливают магниты (рис. 29, *б*).

К элеваторным механизмам ориентации условно можно отнести цепные наклонные транспортеры, используемые в многорезцовых станках для валов, станков и в автоматических линиях для межоперационной передачи заготовок в ориентированном положении.

Механизмы ориентации шиберные (ножевые) и секторные. В шиберных механизмах рабочий орган совершает поступательно-возвратное движение, а в секторных — качательное. Такие механизмы ориентации применяют для стержней с головками, гаек, малого диаметра дисков и валиков.

Шиберные и секторные механизмы ориентации выполняют с расположением рабочего органа (шибера) параллельно накопителю и последовательно с ним.

Размеры шиберных механизмов (рис. 30) рассчитывают по приведенным далее зависимостям.

Производительность шиберного механизма ориентации $Q = mn\eta = \frac{nL_н\eta}{d_1}$, где $\eta = 0{,}3 \div 0{,}4$ — коэффициент заполнения; m — число заготовок, вмещающихся в ориентирующую щель лотка (накопителя), шт.; $L_н$ — длина части накопителя, на которую поступают заготовки с шибера, мм; d_1 — диаметр головки подаваемой заготовки, мм; n — число двойных ходов шибера в 1 мин.

Число ходов шибера выбирают с учетом времени выдачи заготовок в накопитель: $n_{max} = 60\sqrt{\frac{g(\sin\alpha - f\cos\alpha)}{2L_н}}$, где α — угол наклона лотка (накопителя), °.

Размеры бункера и шибера для захвата заготовок принимают следующими (рис. 30, *б*): угол скоса шибера $\alpha_1 = 50°$; ширина скошенной стороны шибера $a = (2{,}5 \div 3)d$; толщина шибера (ножа) $a_1 = 0{,}7d$; длина шибера $L = (7 \div 10)\,l$; угол наклона лотка (накопителя) $\alpha = 30°$; длина накопителя $L_н = (8 \div 10)\,l$; ширина щели накопителя $B = 1{,}1d$; толщина щек накопителя $t_1 = 0{,}5d$. При $l < 8d$ ход шибера $S = \left(L_н + \frac{L'}{\cos\alpha}\right)\sin\alpha + (4 \div 5)$ мм или $S = (3 \div 4)\,d$, мм; $L' = 1{,}5r$, где r — радиус сбрасывателя. При $l = (8 \div 12)d$ $S = (2 \div 2{,}5)\,d$, где d — диаметр или толщина заготовки. Для гаек $S = (5 \div 8)\,h$, где h — высота гайки, мм. Угол наклона дна бункера $\gamma = 2\rho + (5 \div 10)$ °, где ρ — угол трения.

Для удаления с лотка (накопителя) *2* (рис. 30, *а*) неправильно ориентированных заготовок на выходе из бункера устанавливают сбрасыватель *3*. Шиберы бывают цельными и составными.

Размеры секторных механизмов ориентации (рис. 31) выбирают по формулам шиберных механизмов ориентации.

Число двойных ходов сектора определяют с учетом необходимости выдачи заготовок, захваченных за один рабочий цикл, из паза сектора в момент его нахождения в верхнем положении в накопителе. Это справедливо, если $t_1 \leqslant t_2$, где t_1 — время выпадения заготовки из паза сектора; t_2 — время качания сектора.

Время выпадения заготовок из паза сектора в накопитель (лоток) $t_1 = \sqrt{\frac{2L}{g(\sin\alpha - f\cos\alpha)}}$, а время поворота (качания) сектора $t_2 = \frac{\alpha - \rho}{(\alpha + \Delta)\,n}$, где Δ—угол перебега сектора; α — угол наклона сектора в крайнем верхнем положении, град; ρ — угол трения, определяющий начало движения заготовок по пазу к лотку, под действием собственной силы тяжести, град., n — число ходов сектора.

Необходимо также, чтобы $g\cos\alpha \geqslant L\varepsilon_k$, где $\varepsilon_k = \frac{g\cos\alpha}{L}$ — максимальное угловое ускорение сектора, рад/с^2.

Так как при кривошипном приводе ε_k пропорционально n^2, то $a_1 n^2 = \frac{g\cos\alpha}{L}$, откуда $n = \sqrt{\frac{g\cos\alpha}{a_1 L}}$, где a_1 — величина, зависящая от угла α:

α, °	20	30	40	50	60
a_1	0,0042	0,055	0,0069	0,0077	0,0085

Длина сектора L определяется размерами заготовки, необходимой производительностью и числом рабочих циклов. Угол наклона дна бункера $\gamma = 20 \div 30°$. Ширина сектора зависит от поперечного сечения заготовки. Примеры поперечного сечения сектора для различных заготовок показаны на рис. 31, *в*.

Для заготовок типа валиков с $l > 3d$ используют секторный механизм ориентации (рис. 32).

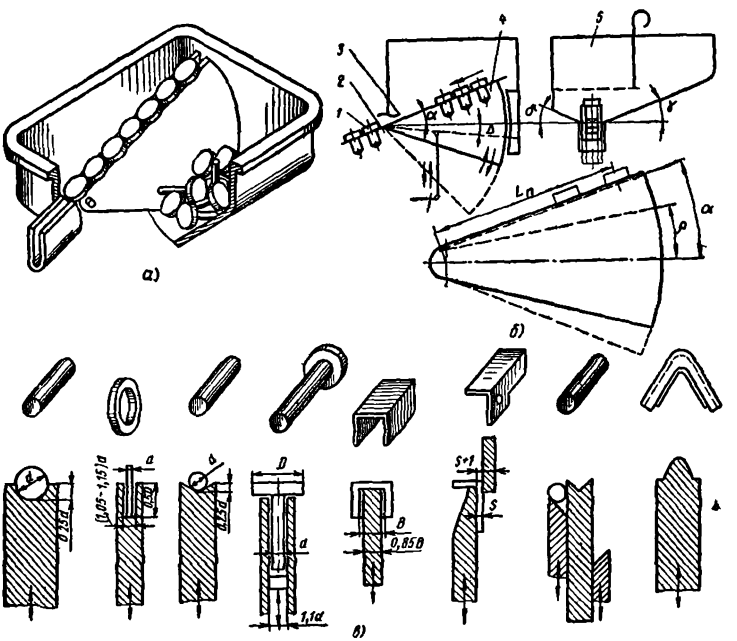


Рис. 31. Секторный механизм ориентации:

а — общий вид; *б* — расчетная схема; *в* — формы и размеры верхней части сектора; *1* — заготовка; *2* — накопитель; *3* — сбрасыватель; *4* — сектор; *5* — бункер

Крючковые механизмы ориентаций (рис. 33) используют для колпачков и втулок с $l > d$; $d = 20$ мм — максимальный наружный диаметр заготовки; $l = 70$ мм — максимальная длина заготовки; минимальный внутренний диаметр заготовки $d_1 = 6$ мм; минимальная толщина стенок заготовки $t = 0{,}3$ мм; диаметр диска отогнутой части крючков $D = 2R_1$, зависит от d и l заготовки и принимается равным 250—400 мм; шаг крючков $m = \delta + L + l + \Delta l$ (рис. 33, *в*), где диаметр стержня крючка $\delta = (0{,}4 \div 0{,}6)\ d$; длина отогнутой части крючка $L = (1{,}2 \div 1{,}3)\ l$; зазор, обеспечивающий свободное перемещение заготовки крючком на позицию захвата (зазор по шагу) и зависящий от окружной скорости диска с крючками,

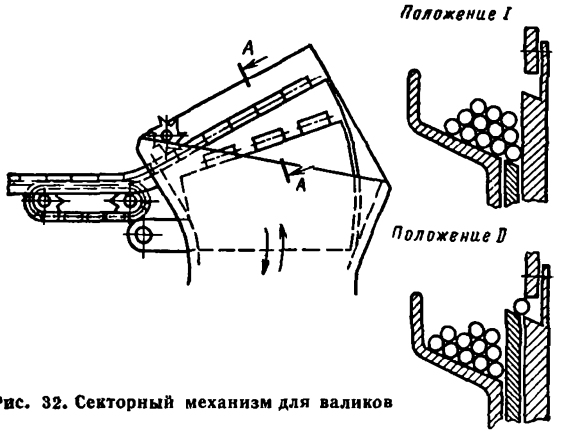


Рис. 32. Секторный механизм для валиков

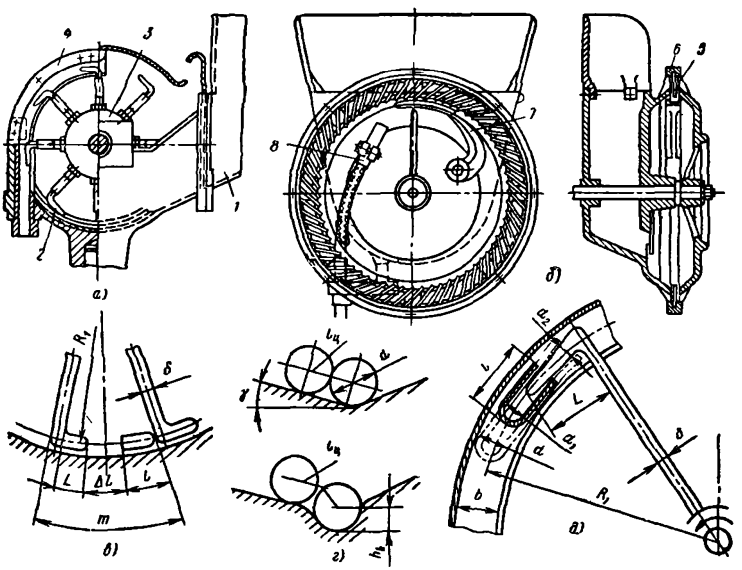


Рис. 33. Крючковые механизмы ориентации:

а — с крючками по окружности диска; *б* — со штырями по внутренней поверхности кольца; *в—д* — расчетные схемы; *1* — бункер; *2* — крючки; *3* — диск; *4* — приемник; *5* — штыри; *6* — кольцо; *7* — планка; *8* — приемная трубка (накопитель)

$\Delta l \geqslant v \sqrt{\frac{2l_ц}{g\left(\sin\gamma - \frac{2k}{d}\cos\gamma\right)}}$, где v—окружная скорость диска;

$l_ц$ — длина пути центра тяжести очередной заготовки при ее перемещении в зоне захвата (рис. 33, *г*); γ — угол наклона дна бункера

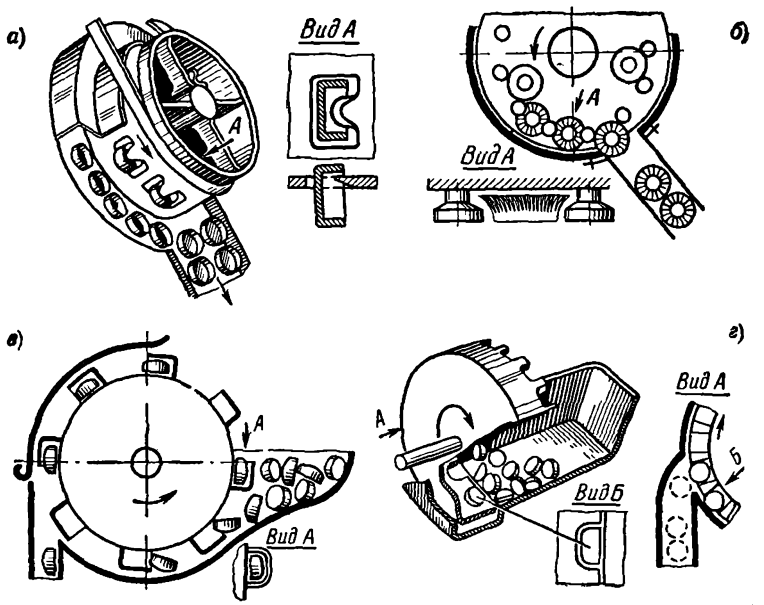


Рис. 34. Карманчиковые вертикальные механизмы ориентации:

а — карманы на поверхности диска; б — профильные карманы по торцу барабана; в — с профильными вырезами на цилиндрической части барабана; г — со штырями фасонными

к горизонтальной плоскости; $k \approx 0{,}05$ — коэффициент трения качения; $\frac{2k}{d}$ — приведенный коэффициент трения качения; число крючков $Z = 8 \div 14$; ширина приемника $b = \frac{4d^2 + 8R_1 d + l^2}{8R_1 + 4d}$, где R_1 — радиус диска отогнутой части крючков (рис. 33, *д*). Угол наклона дна бункера $\gamma = 15 \div 20°$. Глубина впадины в дне бункера в зоне захвата крючками $h_в \geqslant 0{,}5d$; диаметр отогнутой части крючка $d_2 = (0{,}45 \div 0{,}6)\, d_1$ (d_1 — внутренний диаметр заготовки).

Отогнутая часть крючка затачивается на конус. Угол отгиба крючка принимается равным 80—85°. Угловая скорость диска с крючками лимитируется временем соскальзывания заготовки с крючка.

Конструкции крючковых механизмов ориентации различаются расположением крючков (на торце, по периферии) и формой захватных

органов (крючки или штыри на внутренней поверхности вращающегося кольца и т. д.).

В карманчиковых вертикальных механизмах ориентации (рис. 34) заготовки независимо от формы ориентируются за один прием. Захватные (ориентирующие) вырезы, или карманчики, из которых заготовки под действием силы тяжести и сил инерции поступают в приемник, выполнены на боковой поверхности барабана.

При проектировании рассматриваемых механизмов ориентации важно правильно выбрать форму приемника и вырезов диска, а также угловую скорость диска. Профиль заходной части приемника влияет

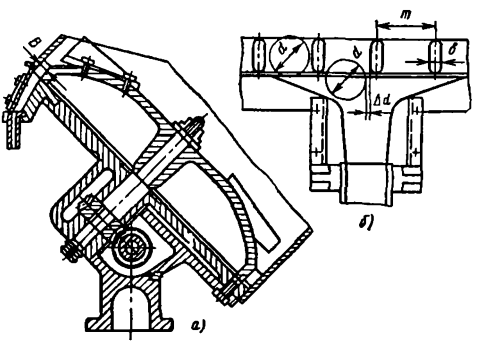


Рис. 35. Щелевой дисковый механизм ориентации:
а—общий вид;
б—расчетная схема

на производительность механизма ориентации и должен назначаться с таким расчетом, чтобы заготовки успели выпасть из захватных органов (вырезов в диске) в процессе их движения и чтобы форма приемника соответствовала траектории естественного движения заготовки под влиянием действующих на нее сил.

Профиль приемника определяется опытным путем или рассчитывается по формулам, приведенным в [13].

Щелевой дисковый механизм ориентации используют для дисков, колец и шайб.

Шаг между гнездами (рис. 35) в этом механизме $m = d + \Delta d + \delta$, а ширина гнезда (щели), мм; $B = a + c$, где $\Delta d = (0{,}1 \div 0{,}12)\, d$, $\delta = 6 \div 8$ мм — толщина перемычки; a — толщина заготовки, мм; $c \approx (1 \div 1{,}5)$ мм — зазор, принимаемый в зависимости от диаметров заготовки и диска.

Дисковые карманчиковые механизмы ориентации различаются расположением карманов для захвата, количеством приемов, за которые ориентируется заготовка, и расположением устройства для вторичной ориентации (внутри или вне бункера). Заготовки в диске могут располагаться по хорде, перпендикулярно диску и по радиусу диска (рис. 36).

Дисковые карманчиковые механизмы с ориентированием заготовок по хорде и радиально используют для гладких и фасонных сплошных и полых тел вращения с $d < 15$ мм, $l < 80$ мм и отношением $\frac{l}{d} = 2{,}5 \div 4$

При проектировании механизмов ориентации необходимо учитывать, что расстояние между осями вырезов (шаг) для заготовок в захватных органах зависит от длины заготовки и зазора между заготовкой и стенками гнезда: $m = l + \delta + \Delta l$, где δ — толщина перегородки, *мм* (определяется конструктивно): $\Delta l \approx \sqrt{\left(l - \frac{L}{2}\right)^2 + d^2} < \frac{L}{2}$; $l = (1{,}4 \div 1{,}6)\, d$. Число вырезов (карманов) для первичного ориентиро-

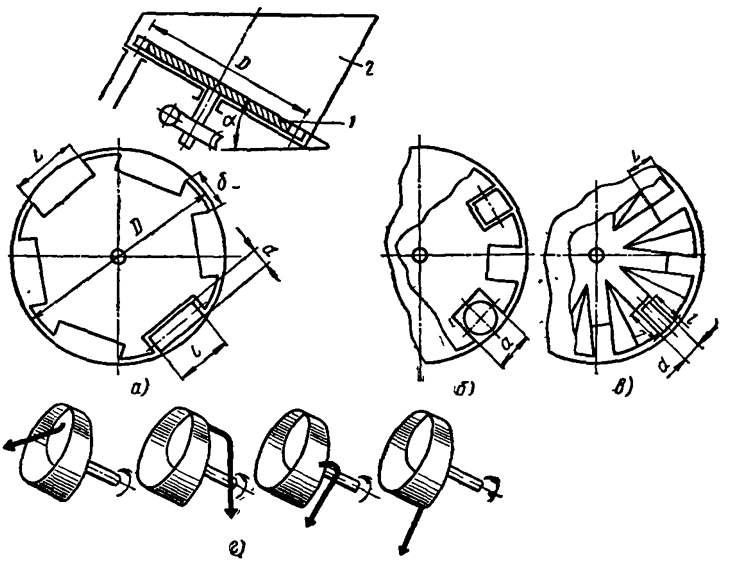


Рис. 36. Дисковые карманчиковые механизмы ориентации:

а — с вырезами (карманами) по хорде; *б* — с аксиально расположенными вырезами (карманами); *в* — с радиально расположенными вырезами (карманами); *г* — схемы выдачи заготовок из механизма ориентации; *1* — диск с вырезами (карманами); *2* — бункер

вания определяют по длине окружности диска, а шаг корректируют с учетом толщины перегородки δ.

Размеры вырезов (карманов) для захвата и первичного ориентирования и карманов для вторичного ориентирования следующие: $l < L < l + d$; $L = l + \Delta l = m - \delta$.

Диаметр диска $D \geq (8 \div 10)\, l$, где l — длина выреза, мм. Угол α наклона бункера к горизонтальной плоскости принимается равным 45—50°; толщина стенки бункера 1,5—3 мм. Коэффициент выдачи $\eta = 0{,}6 \div 0{,}65$.

Число карманов $z \approx \dfrac{180}{\arcsin \dfrac{5d}{D}}$.

Дисковый зубчатый механизм ориентирования (рис. 36, *б*) предназначен для подачи колпачков и подобных им заготовок, высота которых

равна (1,25—3,5) d (наибольшая высота 50 мм и наименьший диаметр 15—20 мм).

При проектировании механизмов этого типа расстояние между осями вырезов для заготовок в диске (шаг) $m = d + \Delta d + \delta$.

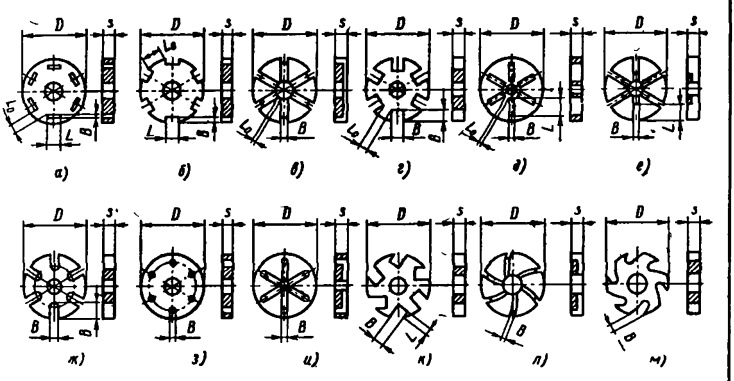
Для обеспечения свободного западания заготовки в карман (вырез) Δd принимается равным 0,7—1 мм, толщина перегородки δ должна быть такой, чтобы заготовка не могла лежать одновременно на трех перегородках вырезов в диске (стенках кармана).

Для лучшей подготовки заготовок к захвату диск выполнен коническим с углом $\varphi = 3 \div 5°$, а на торце снабжен желобками.

Бункер устанавливают под углом $\alpha = 40 \div 50°$; угол наклона приемника $\gamma = 90° - \alpha$; приемник расположен под углом $\beta = 4 \div 10°$ к горизонтальной оси бункера.

Размеры дисков в зависимости от типа гнезд приведены в табл. 8, а формулы для расчета скорости — в табл. 9.

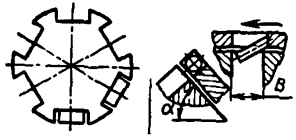
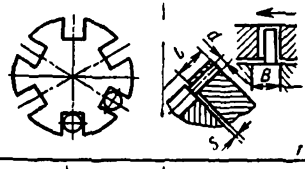
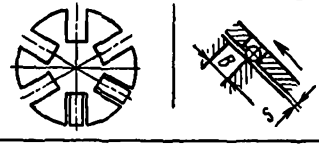
8. Размеры дисков для карманчиковых дисковых механизмов ориентации



Тип диска по эскизу	L_0, мм	L, мм	B, мм	s, мм	D, мм
а, б	$0{,}25l$	$l + 0{,}7$	$1{,}5d$	$0{,}9d$	$\geqslant 10l$
в, г	$0{,}25d$	—	$1{,}2d$	$0{,}9d$	$\geqslant 10d$
д, е	$0{,}25d$	$l + 0{,}7$	$1{,}2d$	$0{,}9d$	$\geqslant 10d$
ж, з, и	$0{,}25d$	—	$1{,}2d$	$0{,}8d$	$\geqslant 10d$
к, л, м	$0{,}25d$	$l + 0{,}7$	$1{,}2d$	$0{,}9d$	$\geqslant 10l$

Примечание. l и d — соответственно длина и диаметр заготовки.

9. Типы карманчиковых дисков

Эскиз диска	Ширина лотка	K	Формула максимальной скорости v_{max}
	$B = n_1\sqrt{\frac{l^2+d^2}{1+f}} = l + v\sqrt{\frac{2d}{a}}$	0,9	$v_{max} = \sqrt{\frac{al}{2\alpha}\left[\frac{1}{2}\ln\left(1+\frac{l^2}{4\rho_1^2}\right) - 1 + \frac{2\rho_1}{l}\operatorname{arctg}\frac{l}{2\rho_1}\right]}$ или $v = \sqrt{\frac{g(\sin\alpha - f\cos\alpha)(B-l)^2}{2(d-s)}}$; $\alpha = k_н \operatorname{arctg}\frac{f+\frac{d}{l}}{1-f\frac{d}{l}}$; $a = g(\cos\alpha - f\sin\alpha)$
	$B = n\sqrt{\frac{l^2+d^2}{1+f}}$	0,45—0,6	$v_{max} = \frac{B-d}{\sqrt{\frac{2(l-s)}{g(\cos\alpha - f\sin\alpha)}}}$
	$B = \frac{2d}{1+f^2}n$	0,1—0,2	$v_{max} < \left(B - \frac{d}{2}\right)\sqrt{\frac{g(\cos\alpha - f\sin\alpha)}{2\left(\frac{d}{2}-s\right)}}$

Обозначения: a — ускорение заготовки при скольжении по плоскости, наклоненной под углом α; $a = g(\cos\alpha - f\sin\alpha)$; l — длина заготовки; B — ширина лотка, g — ускорение свободного падения; s — зазор между подвижным диском и неподвижным днищем бункера; d — диаметр заготовки, ρ_1 — радиус инерции заготовки относительно оси, проходящей через точку касания заготовки с краем лотка; α — угол наклона лотка; K — коэффициент захвата, $k_н$ — коэффициент надежности, $k_н = 1{,}4 \div 1{,}6$, f — коэффициент трения (0,4—0,5).

Вибрационные механизмы ориентации (вибробункера) по сравнению с механизмами ориентации с движущимися органами имеют ряд преимуществ: они могут быть использованы для разнообразных симметричных и несимметричных заготовок, в том числе и для заготовок из малопрочных и хрупких материалов; у них предусмотрены возможность быстрой переналадки с затратой относительно небольших средств на различные типоразмеры заготовок, возможность регулирования производительности, они отличаются долговечностью, малым потреблением электроэнергии и надежностью.

Вибробункер состоит из чаши (бункера), по лотку которой движутся и в процессе движения ориентируются заготовки. По типу привода различают вибробункера с электромагнитным, пневматическим поршневым, пневматическим дебалансным, шариковым дебалансным, дебалансным направленного действия и другими приводами. В машиностроении чаще всего применяют вибробункера с электромагнитными приводами. Вибрационные загрузочные устройства имеют два исполнения: со спиральным лотком на стенке круглого бункера и с прямолинейным лотком. Наиболее характерные вибробункера со спиральным лотком и электромагнитным приводом приведены в табл. 10, расчет вибробункеров с электромагнитным приводом — в табл. 11; с остальными видами приводов можно ознакомиться в работах [8, 9, 12].

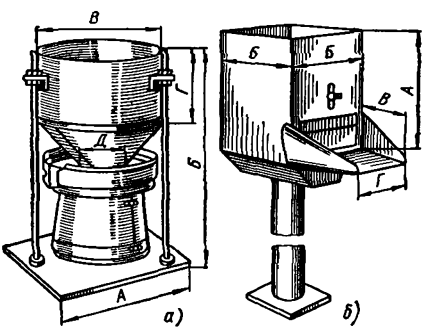


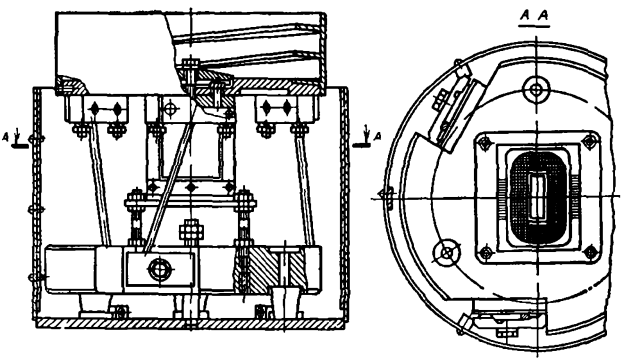
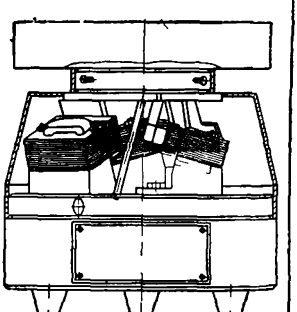
Рис. 37. Предбункера к вибрационным механизмам ориентации

Работа вибробункера основана на движении заготовок по колеблющемуся лотку. Движение заготовок по поверхности колеблющегося лотка может быть безотрывным и отрывным. Размеры электромагнитных приводов вибробункеров регламентированы ГОСТ 20796—75.

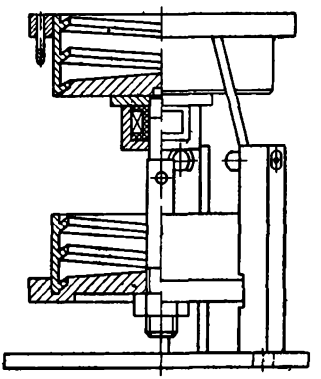
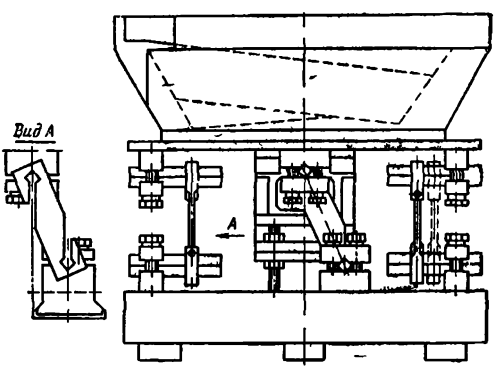
Вибробункера для сосредоточения запаса заготовок и создания лучших условий ориентирования заготовок в чаше снабжают предбункерами (рис. 37). Предбункера монтируют непосредственно над чашей вибробункера (рис. 37, *а*) или в стороне (рис. 37, *б*), соединяя с чашей лотком.

Размеры предбункеров даны в табл. 12.

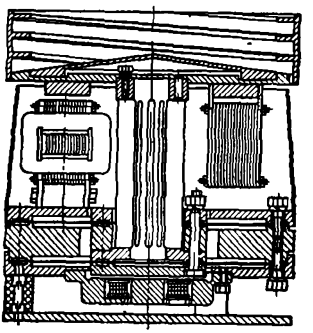
10. Вибробункера со спиральным лотком

Характеристика и эскиз
С вертикальным электромагнитным вибратором Подвески 3 цилиндрических стержней или три рессоры из плоских пластин 
С тремя тангенциальными вибраторами. Подвески в виде 3-х цилиндрических стержней или 3-х плоских рессор 

Продолжение табл. 10

Характеристика и эскиз
С вертикальным электромагнитным вибратором двухчашечный. Подвески — три цилиндрических стержня или три рессоры из плоских пружин 
С вертикальным электромагнитным вибратором и тремя торсионными подвесками 

Продолжение табл. 10

Характеристика и эскиз
С разделением колебаний в горизонтальном и вертикальном направлениях. Крутильные колебания в горизонтальной плоскости создают торсион и два электромагнита, а в вертикальной — торсион и один электромагнит 
Примечания: 1. Приведены только вибробункера с круглым бункером, в которых для привода используют электромагнитные вибраторы. Значительно реже используют дебалансные (инерционные) вибраторы, пневматические и гидравлические вибраторы. 2. Допустимо вместо трех вибраторов ставить четыре и соответственно четыре подвески (рессоры). 3. Кроме указанных упругих систем (подвесок), используют рессоры и витые цилиндрические пружины с горизонтальным расположением [13]. 4. Питание электромагнитных вибраторов возможно от сети переменного тока, переменного тока с однополупериодным выпрямлением, переменного тока с применением регулятора частоты, от сети постоянного тока с прерывателем в виде контактов в цепи обмотки электромагнита. Используют и другие схемы.

11. Расчет вибробункеров с электромагнитным приводом

Определяемый параметр	Расчетные формулы и указания по выбору
Производительность вибробункера $П_{ср}$, мин	$\frac{П_ц}{1-k_п}$
Скорость движения заготовок (деталей) по лотку $v_д$, мм/с	$\frac{П_{ср} l_д}{60 k_з}$

Продолжение табл. 11

Определяемый параметр	Расчетные формулы и указания по выбору
Диаметр бункера (чаши) D, мм, для загрузки несцепляемых и несопрягаемых заготовок:	
цилиндрического	$D_в + 2\delta_с = 3\sqrt{\frac{v_д П_ц T}{\pi H_р}} + 2\delta_0$
конического	$D_в\left[\frac{H}{H_р}\left(\sqrt{\frac{24 v_д П_ц T}{\pi D_в^2 H_р}} - 0{,}75 - 1{,}5\right) + 1\right] + 2\delta_0$
Шаг лотка t, мм	$\pi D_{ср} \operatorname{tg} \beta$. Если лотки без отрицательного угла наклона, то его проверяют из условия относительного движения заготовок по лотку $t < kd + \delta_д$
Диаметр или толщина пружинных стержней d, мм	$2\sqrt[4]{\frac{4\pi\nu^2 l^3 m_{пр}}{3n\varepsilon\tau_{кр}}}$ при $n = 3$ $d_{50} = 0{,}402\sqrt[4]{\frac{k_\nu^2 l^3 m_{пр}}{\tau_{кр}}}$ для $\nu_в = 50$ Гц $d_{100} = 0{,}571\sqrt[4]{\frac{k_\nu^2 l^3 m_{пр}}{\tau_{кр}}}$ для $\nu_в = 100$ Гц
Толщина прямоугольного стержня b, мм	$\sqrt[4]{\frac{4\pi^2\nu^2 l^3 m_{пр}}{n\varepsilon\left(\frac{b}{h}\right)\tau'_{кр}}}$

Продолжение табл 11

Примечания. 1. Приведенный расчет предусматривает определение основных геометрических параметров вибробункера, полный расчет геометрических параметров движения деталей по лотку, расчет привода, расчет электромагнита и т. д. изложены в работах [8, 9, 12].

2 Обозначения: $П_ц$ — *цикловая производительность оборудования, мин*; $k_п$ — коэффициент нестабильности работы вибробункера; $k_п = 0{,}2 \div 0{,}3$; $l_д$ — размер заготовки в направлении движения, мм; $k_з$ — коэффициент заполнения лотка бункера заготовками, движущимися в требуемом положении (определяется опытным путем), $k_з = 0{,}95 \div 0{,}98$, $D_в$ — *внутренний диаметр цилиндрической и конической чаш и днища*, мм; $D_в \geqslant (5 \rightarrow 10)\, l_д$, $\delta_с$ — толщина стенки чаши, мм; $v_д$ — объем загружаемой заготовки, мм³, T — регламентированный (нормативный) период времени между пополнениями бункера заготовками, с, $H_р$ — высота заполнения чаши заготовками, *мм*, H — *полная высота чаши, мм*, $H = H_р + (1 \div 1{,}5)\, t$, $D_{ср}$ — средний диаметр движения заготовки по лотку, мм; d — диаметр (высота) заготовки, лежащей на лотке, мм, $\delta_д$ — толщина лотка; $k = \dfrac{\sqrt{\dfrac{l_д^2}{d^2} + 1}}{\sqrt{f^2 + 1}}$ при $\dfrac{l_д}{d} = 1{,}0 \div 1{,}5$, $k = 1{,}5$ при $\dfrac{l_д}{d} > 1{,}5$; β—угол подъема лотка, °; *обычно* $\beta = 0{,}5 \div 3°$, $m_{пр} = \dfrac{m_в}{1 + \dfrac{m_в}{m_н}}$ — *приведенная масса, где* $m_в$ и $m_н$ — соответственно массы верхней (подвешенной на пружинных стержнях) и нижних частей, приведенные к точкам крепления пружинных стержней, $г \cdot с^2/см$; $m_в/m_н = 0{,}15 \div 0{,}3$, n — количество пружинных стержней; E — модуль упругости пружинной стали, l — длина пружинного стержня, ν — частота собственных колебаний (*при расчете следует принимать* частоту собственных колебаний в 1,05—1,15 раза больше частоты вынужденных колебаний); $\tau_{кр}$ и $\tau'_{кр}$ — коэффициенты, учитывающие влияние *скручивания пружинного стержня* (рессоры) на его жесткость; b — ширина пружины (рессоры)

12. Размеры предбункеров для вибробункеров, мм

Наружный диаметр чаши вибробункера	Тип по рис. 37, *а*					Тип по рис. 37, *б*			
	А	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*А*	*Б*	*В*	*Г*
200—250	400	650	300	250	100	400	200	200	150
300—400	500	750	400	300	150	500	300	250	254
500—600	750	1000	600	350	200	600	400	300	350

Примечания: 1. Регулирование *скорости поступления* заготовок из предбункера *по типу рис 37, а* в чашу вибробункера достигается изменением зазора между дном чаши и торцом воронки предбункера.

2. В предбункерах по типу рис. 37, *б* выдача порции заготовок в чашу вибробункера осуществляется периодически открывающейся заслонкой

Чаши вибрационных бункеров по конструктивному исполнению бывают цилиндрическими (рис. 38, *а*) и каскадными коническими (рис. 38, *б*). Первые получили большее распространение. Цилиндрические чаши выполняют с цельной обечайкой и центральным креплением обычные и герметичные; с цельной обечайкой и фланцевым креплением; с составной обечайкой и фланцевым креплением; с составной обечайкой и центральным креплением.

Размеры и требования к чашам регламентированы ГОСТ 20795—75.

Конические чаши обычно используют в тех случаях, когда в чаше необходимо иметь несколько витков спирального лотка, а заготовки имеют такую форму, которая не исключает их заклинивания между лотками. Конические чаши в зависимости от принятой технологии их изготовления выполняют с постоянным шагом винтового лотка (переменный угол подъема лотка) либо с постоянным углом подъема (переменный шаг).

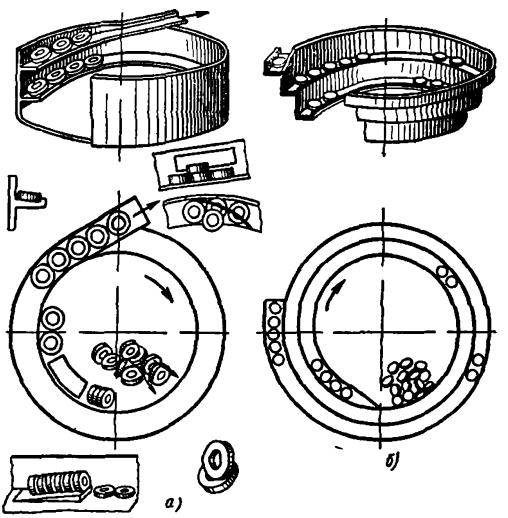
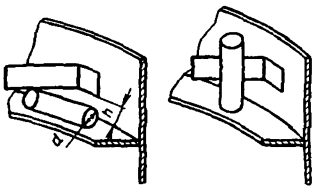
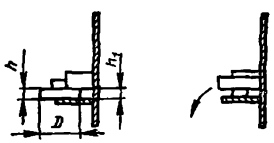
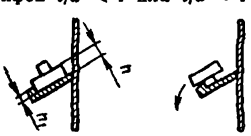
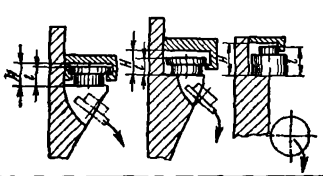
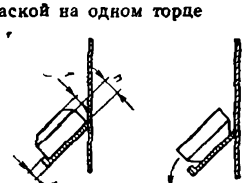


Рис. 38. Чаши вибробункеров

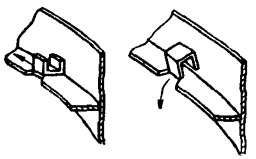
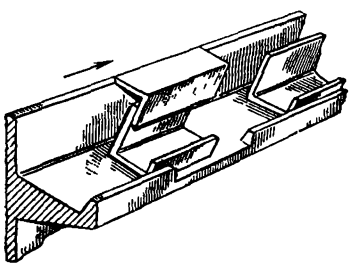
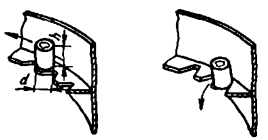
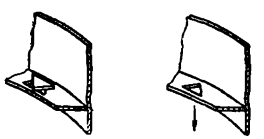
Устройство для ориентации в вибробункерах и вибролотках. Ориентация заготовок в вибробункерах осуществляется следующими способами. приданием спиральному лотку формы, которая допускает попадание на него заготовок только в определенных положениях; установкой на лотке сбрасывателей, пропускающих по лотку заготовки в определенных положениях и сбрасывающих заготовки в иных положениях; использованием особенностей конфигурации заготовок (выступы, фаски и отверстия), а также особенностей расположения их центра тяжести; использованием специальных механизмов, смонтированных внутри бункера, наряду с приведенными способами.

В табл. 13 приведен ряд способов ориентации заготовок в вибробункерах. Это только некоторые типовые пассивные и активные способы ориентации. Ряд решений по ориентации с использованием специальных устройств приведен в работах [8, 9, 12].

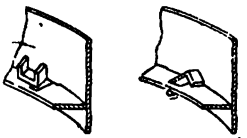
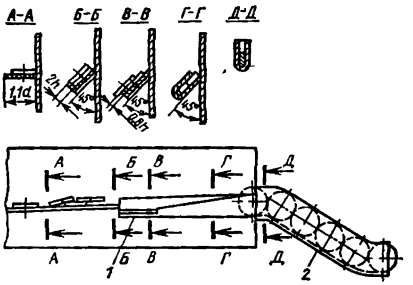
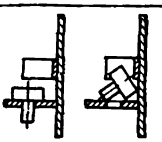
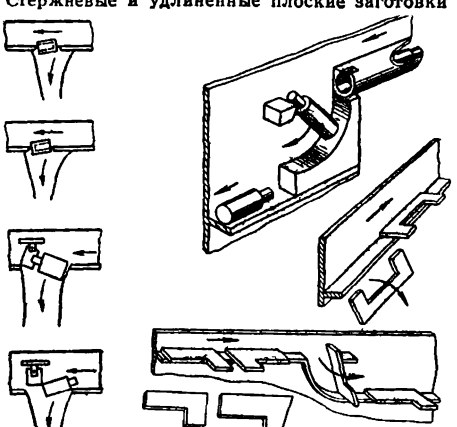
13. Примеры ориентации штучных заготовок на спиральных лотках чаш вибробункеров

Характеристика заготовок и эскиз	Принцип действия
Цилиндрические или призматические $l > a$ 	Козырек, укрепленный на стенке чаши на высоте $h > 1,1d$, сбрасывает в последнюю заготовки, стоящие на торце или лежащие друг на друге
Диски с цапфой $l/D < 1$ или $l/d \approx 1$ 	Козырек укреплен на стенке чаши на высоте $h_1 = (1,1 \div 1,2)\,h$; ширина лотка менее диаметра D. Заготовки, расположенные цапфой вниз, сбрасываются в чашу
Диски с цапфой $l/d < 1$ или $l/d \approx 1$ 	Лоток карнизный с буртиком; высота буртика $h_1 < h$ Заготовки, расположенные цапфой вниз, сбрасываются в чашу
Диски с цапфой $l/d < 1$ 	На стенке чаши на высоте $H = l + 0,7$ мм укреплен коробчатый мостик с пазом, ширина которого $d_1 = d + 1$мм. Заготовки, расположенные цапфой вверх, сбрасываются в бункер
Диски с фаской на одном торце 	Лоток карнизный с буртиком; высота бурта $h_1 < h$. Заготовки, расположенные фаской f вниз, сбрасываются в чашу

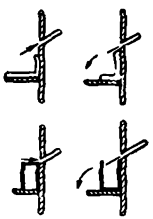
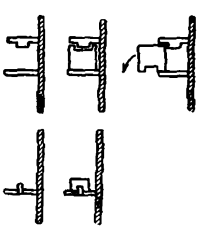
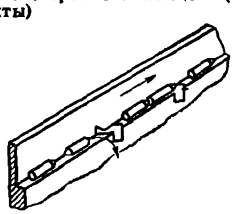
Продолжение табл. 13

Характеристика заготовок и эскиз	Принцип действия
Скобы с равновысокими вертикальными полками (сторонами) 	*Лоток с вырезом.* Неправильно ориентированные заготовки сбрасываются в чашу
Скобы с разновысокими вертикальными полками (стенками) 	Лоток карнизный с буртиком, на стенке чаши укреплен козырек (поддерживает упор). Заготовки, идущие низкой стороной к козырьку, не задерживаются им и выпадают в чашу (в зоне выпадения бурт на лотке отсутствует)
Колпачки высотой $h = (0{,}4 \div 0{,}9)\,d$ 	Лоток с вырезом и язычком (для большей надежности вырезов много). *Заготовки, идущие* донышком вверх, выпадают в чашу. Таким способом ориентируются и кольца с внутренним коническим отверстием
Плоские призматические или трапецеидальные 	Лоток снабжен вырезом по форме заготовки. Заготовки, занявшие неправильное положение на лотке, через этот вырез падают обратно в чашу. Размеры контура выреза в лотке в направлении вибротранспортирования должны быть больше размеров контура заготовки. Для повышения надежности ориентации вырезы на лотке следуют многократно дублировать

Продолжение табл 13

Характеристика заготовок и эскиз	Принцип действия
П-, Z-образные и подобные им скобы и детали 	Лоток с вырезом, через который неправильно ориентированные заготовки выпадают в чашу
Диски и подобные им заготовки с высотой $h < 0,4d$ 	Если заготовка должна быть подана в положение «на ребро» в один ряд, применяют спиралеобразные лотки. Участок *1* лотка выполняют с наклоном 45°. На этом участке имеется бурт высотой в начале лотка $2h$, а затем—$0,8h$. В результате наклона лишние заготовки падают в чашу, а на лотке остаются заготовки, расположенные в один ряд; они поступают в полуоткрытую часть лотка, а из лотка, занимая вертикальное положение (на ребро),— в накопитель *2*
Заготовки типа стержня с головками, центр тяжести у которых расположен ниже головки 	Заготовки ориентируются пазом в лотке; неправильно ориентированные заготовки сбрасываются козырьком
Стержневые и удлиненные плоские заготовки 	Ориентация осуществляется по продольному смещению центра тяжести или разнице конфигурации торцов заготовки, подвергнутые систематизации потока (расположения в один ряд), что достигается выбором соответствующей ширины лотка установкой козырька над лотком, окончательную ориентацию получают в щели. Размер щели устанавливают исходя из условия, что заготовка должна падать в нее тяжелым концом, когда заготовки движутся вперед легким концом, они проходят над щелью, а затем опрокидываются вокруг кромки ограничителя тяжелым концом

Продолжение табл. 13

Характеристика заготовок и эскиз	Принцип действия
Стержневые и удлиненные плоские заготовки	в щель При движении заготовок тяжелым концом вперед они опрокидываются в щель, не доходя до ограничителя
Диски, уголки, колпачки 	Ориентация заготовок осуществляется пневматическими струйными методами, для чего в стенке чаши или на лотке располагают одно или несколько сопл. Сжатый воздух, поступая через сопла, сдувает лишние заготовки (оставляя один ряд заготовок) или заготовки, неправильно ориентированные
Валики с канавкой 	Ориентация происходит с помощью продольного выступа на лотке Неправильно ориентированные заготовки либо не могут зафиксироваться на выступе благодаря близко расположенной боковой стенке чаши, либо падают с лотка вследствие смещения центра тяжести за его край
Стержни с заостренным концом (керны, стопорные винты) 	На лотке установлены сбрасыватели с призматической канавкой Заготовки, идущие заостренным концом вперед, заходят в призматическое углубление и продолжают двигаться по лотку, а заготовки, идущие тупым концом вперед, упираются в сбрасыватель и удаляются с лотка

Продолжение табл. 13

Характеристика заготовок и эскиз	Принцип действия
Заготовки цилиндрические, короткие $l \approx d$ 	На лотке установлен кулачок. Проходя по этому кулачку, заготовки опрокидываются и устанавливаются на торец и в этом положении продолжают перемещаться до момента выдачи в накопитель

Примечания: 1. Угол наклона карнизных лотков в зависимости от размеров и формы заготовки принимают от 0 до 45°.

2. Форму и размеры вырезов в лотке при ориентации по контуру подаваемой заготовки определяют следующим образом. Вначале вычерчивают в увеличенном масштабе все возможные положения заготовки на лотке и наносят положение центра тяжести, а затем для всех положений, кроме заданного, определяют форму и размеры оптимального выреза, обеспечивающего провал заготовки в него, и наносят его на соответствующий чертеж. На кальке вычерчивают заготовку в заданном положении и последовательным наложением на все вырезы проверяют, обеспечивается ли прохождение ее над ними; в случае необходимости проводят соответствующую корректировку.

3. Ориентация заготовок по вырезу в лотке может быть выполнена как в обычных, так и в карнизных лотках.

МЕХАНИЗМЫ ПОШТУЧНОЙ ВЫДАЧИ

Эти механизмы применяют в загрузочных устройствах для отделения заготовки (или нескольких) от общего потока заготовок, находящихся в магазине или накопителе, при этом заготовка самотеком поступает в захват питателя или в зону обработки станка.

Необходимость установки механизма поштучной обработки определяется в зависимости от габаритов заготовки и ее формы и от конструкции магазина или накопителя. В ряде загрузочных устройств механизм поштучной выдачи заменяет питатель, а в большинстве загрузочных устройств предусмотрены и питатель и механизм поштучной выдачи. Механизмы поштучной выдачи работают от собственного привода или от других механизмов загрузочного устройства, синхронно с питателем. По конструкции механизмы поштучной выдачи бывают движковые, штифтовые, кулачковые, барабанные, дисковые. Схемы наиболее часто применяемых механизмов поштучной выдачи приведены на рис. 39.

ПИТАТЕЛИ

Питатели предназначены для принудительного перемещения ориентированных заготовок из магазина или накопителя в зону зажимного приспособления или к транспортирующей системе автоматической линии.

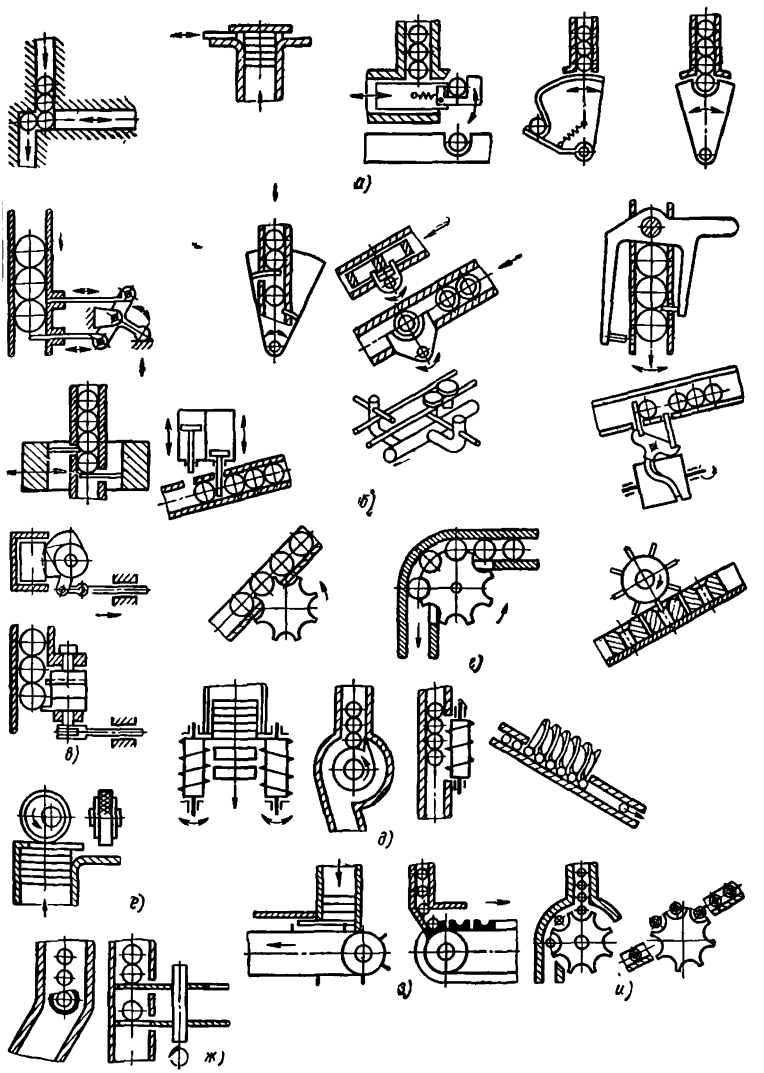


Рис. 39. Механизмы поштучной выдачи:

а — планочные; *б* — штифтовые; *в* — кулачковые; *г* — барабанные; *д* — винтовые; *е* — фрикционные; *ж* — желобчатые и дисковые; *з* — конвейерные; *и* — роторные

По движению подающего звена различают питатели (рис. 40) с возвратно-поступательным движением (траектория — прямая линия) с колебательным движением (траектория — часть окружности); с вращательным движением (траектория — окружность); со сложным движением (траектория — замкнутый прямоугольник или сочетание прямой с частью окружности или полной окружностью).

В зависимости от типа привода подающего звена питатели бывают механические, пневматические, гидравлические и электромеханические. Кроме того, различают питатели с механическими, магнитными, электромагнитными, вакуумными струйными и адгезионными захватами. Для

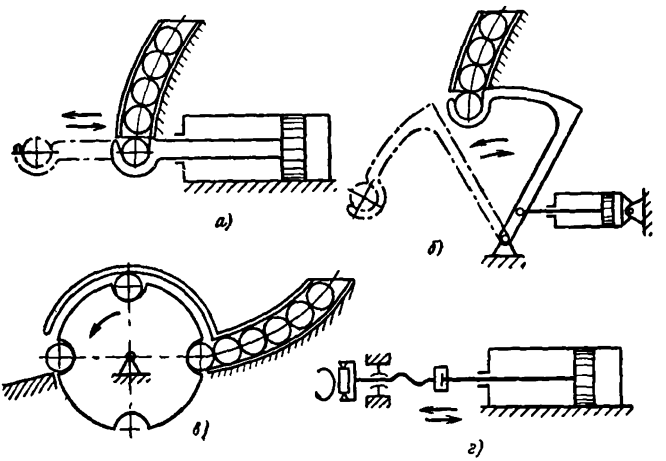


Рис. 40. Схемы питателей:

а — с возвратно-поступательным движением; *б* — с колебательным движением; *в* — с вращательным движением; *г* — со сложным движением

заготовок, обрабатываемых на станках, применяют питатели с механическими и вакуумными захватами, а для заготовок, обрабатываемых на прессах, — с механическими, магнитными, электромагнитными и вакуумными захватами.

Питатели включают корпус, захват, механизм перемещения и привод, а иногда еще и механизм торможения подвижных деталей, несущих захват. Питатель может не иметь захвата, и тогда он не перемещает, а проталкивает заготовку.

Под точностью работы питателя позиционирования понимают степень соответствия действительного положения заготовки в зоне обработки заданному положению. Точность работы питателя определяется суммарной ошибкой положения заготовки относительно заданного положения и зависит от различных факторов: закона движения захватного органа питателя и максимальных скоростей и ускорений его рабочего перемещения; способа базирования заготовки в рабочей зоне; раз-

меров заготовки; точности изготовления заготовки; поверхностей направляющих и заготовки и т. п.

Конструкции питателей рассмотрены в работе [9].

При проектировании питателя следует строить комплексную циклограмму работы загрузочного устройства и обслуживаемого станка для увязки работы питателя с работой механизмов станка.

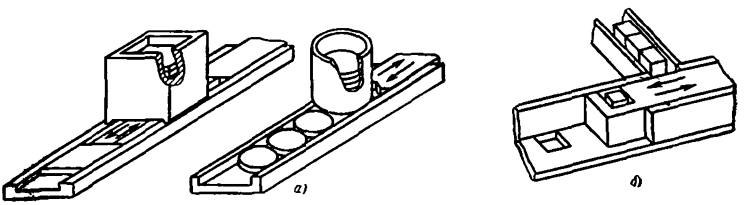


Рис. 41. Шиберные питатели:
а— открытые; *б* — с закрытым трафаретом

Шиберные питатели (ГОСТ 15824—70) применяют для подачи плоских заготовок толщиной более 0,5 мм, длиной и шириной до 250 мм.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И РАЗМЕРЫ ШИБЕРНЫХ ПИТАТЕЛЕЙ
(ГОСТ 15824—70)

Обозначение типоразмеров	Ход шибера, мм	Размеры заготовок, мм, при подаче	
		поштучной	дорожкой и каскадом
I—16	16	—	⩽12
I—25	(25) *	—	—
I—40	40	⩽16	13—35
I—63	63	17—25	36—60
I—100	100	26—40	61—90
I—160	160	41—65	91—150
I—250	250	66—100	151—240
II—40	40	—	⩽35
II—100	100	⩽40	36—90
II—250	250	41—100	91—240
II—630	630	101—250	—

* Шиберный питатель с ходом 25 мм по возможности не применять

На рис. 41 приведены схемы шиберных питателей. Шиберные питатели различаются по форме захватного элемента, привода и способу

транспортирования заготовок. По виду формы захватного органа шиберные питатели бывают открытые (рис. 41, *а*), с закрытым трафаретом (рис. 41, *б*).

Приводы рабочего органа питателей бывают механические (клиновой, рычажный, реечный, роликовый, тросиковый), пневматические и гидравлические. На рис. 42 приведены схемы транспортирования плоских заготовок в шиберных питателях, получающих широкое применение в практике штамповочных работ. Плоские заготовки перемещаются «поштучно», «дорожкой», «каскадом». Захватные элементы шибера для плоских заготовок имеют форму открытого или закрытого трафарета.

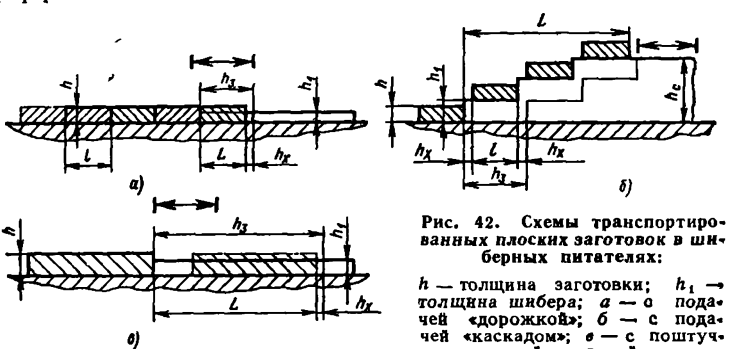


Рис. 42. Схемы транспортированных плоских заготовок в шиберных питателях:

h — толщина заготовки; h_1 — толщина шибера; *а* — с подачей «дорожкой»; *б* — с подачей «каскадом»; *в* — с поштучной выдачей

Привод шибера может быть механическим (клиновой, рычажный, реечный, роликовый, тросиковый), пневматическим и гидравлическим; он определяется размерами заготовок и типом оборудования, на котором установлен питатель. Приводы шиберов для плоских заготовок приведены в табл. 14.

Ход шибера $h_э$ рассчитывают по формулам (размеры в мм) рис. 42:

при поштучной подаче . . . . . $h_э = L + h_х$;

при подаче «дорожкой» . . . . . $h_э = \frac{L}{z_э} + h_х = l + h_х$;

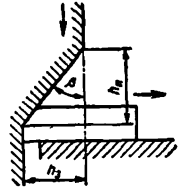
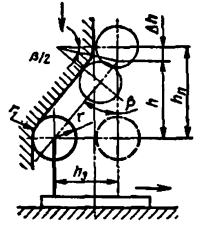
при подаче «каскадом» . . . . . $h_э = \frac{L}{z_э} + h_х = l + 2h_х$.

В формулах приняты обозначения: $h_э$ — ход шибера; $h_х$ — перебег шибера (принимают равным 0,5—1,5 мм); L — расстояние подачи (перемещение) заготовки; l — размер заготовки в направлении подачи; $z_э$ — число заготовок, находящихся между исходной и рабочей позициями.

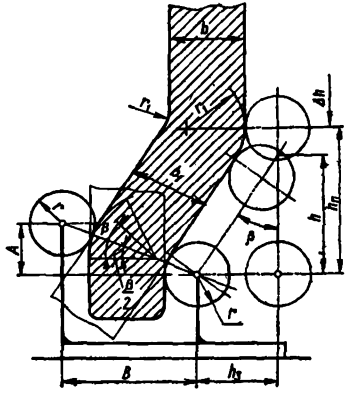
Толщина рабочей части шибера, обычного для подачи плоских заготовок, $h_1 = (0{,}6 \div 0{,}8)\,h$, а ступенчатого (подача каскадом) $h_с = n''h'$ (n'' — число ступеней шибера), $h_1' = (2—3)\,h$; у цилиндрических заготовок с вертикальным расположением в захвате $h = (0{,}7 \div 0{,}8)\,D$ (D — диаметр заготовки). При проектировании шиберных питателей с открытым захватом необходимо обратить внимание на выбор рационального закона движения.

Сведения по выбору закона движения приведены в работе [13]. Средняя скорость перемещения шибера, исходя из условия его непре-

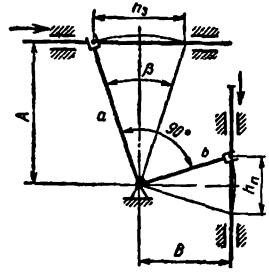
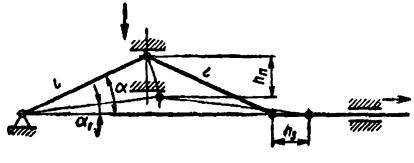
14. Приводы шиберов для плоских заготовок

Наименование и эскизы механизмов привода	Рассчитываемый параметр	Формула
Клиновой односторонний 	Ход ведомого звена, обеспечивающий заданный ход шибера	$h_{\text{п}} = \frac{h_{\text{з}}}{\operatorname{tg}\beta}$
Клиновой односторонний, сообщающий движение шиберу через ролик 		$h_{\text{п}} = h + \Delta h$ или $h_{\text{п}} = \frac{h_{\text{з}}}{\operatorname{tg}\beta} + (r_1 + r)\operatorname{tg}\frac{\beta}{2}$

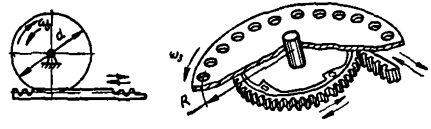
Продолжение табл. 14

Наименование и эскизы механизмов привода	Рассчитываемый параметр	Формула
Клиновой двухсторонний 	Ход ведомого звена, обеспечивающий заданный ход шибера.	$h_п = h + \Delta h$ или $h_п = \frac{h_з}{\operatorname{tg}\beta} + (r_1 + r)\operatorname{tg}\frac{\beta}{2}$
	Параметры A и B из условия касания роликами боковых поверхностей клина	$B \geqslant b + 2r$ $A \geqslant (b_1 + 2r)\operatorname{tg}\frac{\beta}{2}$;
	Передаточное отношение $i_п$ в период установившегося движения	$i_п = \frac{1}{\operatorname{tg}\beta}$

Продолжение табл 14

Наименование и эскизы механизмов привода	Рассчитываемый параметр	Формула
Рычажный Тип I 	Рабочий ход ведомого звена	$h_п = h_з \frac{b}{a} = h_з \frac{B}{A}$; $h_з t_п = 2A t_п \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$;
Тип II 		$h_п = \frac{h_з}{2} \frac{\sin\alpha - \sin\alpha_1}{\cos\alpha_1 - \cos\alpha}$

Продолжение табл. 14

Наименование и эскизы механизмов привода	Рассчитываемый параметр	Формула
Реечный Тип I (слева) Тип II (справа) 	Рабочий ход ведомого звена	$h_п = 0{,}5\varphi d$ или $h_п = 0{,}5h_в$ (тип I); $h_п = \frac{D_2}{D_1} h_в$ (тип II)

Обозначения: $h_п$ — ход ведомого звена привода, мм; $h_в$ — ход шибера (ход ведущего звена шибера); мм; β — угол клина, обычно $\beta \leqslant 0{,}785$ рад (45°); r_1 — радиус закругления клина, мм; r — радиус ролика, мм; b и b_1 — ширина клина, мм; $i_п$ — передаточное отношение клинового механизма в период установившегося движения; a и b — длины рычагов, мм; β_1 — угол качания рычага (рекомендуется меньше 60°); A и B — расстояния от центра движения рычага до осей перемещения ползуна, мм; α и α_1 — соответственно максимальный и минимальный углы качания рычага, °; φ — угол поворота ведущего звена захватного органа, рад; d — диаметр зубчатого колеса; D_1 и D_2 — диаметры начальных окружностей колес

рывной работы при темпе $t=\frac{60}{Q_c}$ с, рассчитывается по формуле

$$v_{\min}=k\frac{nm_1L}{60},$$

где k — коэффициент, учитывающий неравномерность перемещения шибера и время переключения системы управления (при использовании пневмо- или гидропривода $k=1{,}2\div1{,}4$); n — число ходов шибера в 1 мин; L — ход шибера, мм; Q_c—производительность обслуживаемого оборудования (станка, пресса и др.), шт/мин.

Шиберные питатели обычно используют с магазинными ориентирующими устройствами. Поэтому силу проталкивания определяют как силу, необходимую для проталкивания заготовок из полностью загруженного магазина.

Силу проталкивания заготовок шибером по неподвижным поверхностям питателя рассчитывают по формуле

$$Q_{ш}=\beta f m_1 G,$$

где G — сила тяжести одной заготовки; m_1 — число проталкиваемых шибером заготовок; $\beta=1{,}4\div1{,}6$ — коэффициент запаса, учитывающий возможное слипание заготовок; f — коэффициент трения при проталкивании. Приведенная формула справедлива при выводе заготовки под захват из лотка, расположенного наклонно и снабженного механизмом поштучной выдачи. Если механизм поштучной выдачи отсутствует, а лоток расположен вертикально или наклонно (угол наклона более 10°), то необходимо учесть массу заготовок, находящихся в лотке. С учетом динамических нагрузок, возникающих в момент разгона

$$Q_{ш}=2\beta f m_1 G+\frac{m_2}{g}a,$$

где m_2 — масса рабочих органов питателя (подвижных); a — ускорение, развиваемое в период разгона и зависящее от типа привода; g — ускорение свободного падения.

В качестве привода шиберных питателей для валиков, втулок и подобных им заготовок применяют, как правило, пневматические приводы и реже гидравлические.

Маятниковые питатели с колебательным движением (рис. 43) перемещают подаваемую заготовку только путем переноса и поэтому для удержания последней имеют захват. В зависимости от типа обслуживаемого станка питатель имеет горизонтальную или вертикальную ось качания. Движение питателю передается кулачками в сочетании с системой рычагов или рейкой и зубчатым колесом, пневматическим и гидравлическим приводами в сочетании с механическими передачами.

Револьверные питатели используют для подачи разнообразных по форме заготовок при штамповочных, сверлильных и сборочных работах.

Периодическое движение револьверный диск получает от получервяка, мальтийского, храпового или фрикционных механизмов. Указанные механизмы получают привод от вала или ползуна (станка, пресса), от штампа (клиновой, байонетный) либо от индивидуального привода.

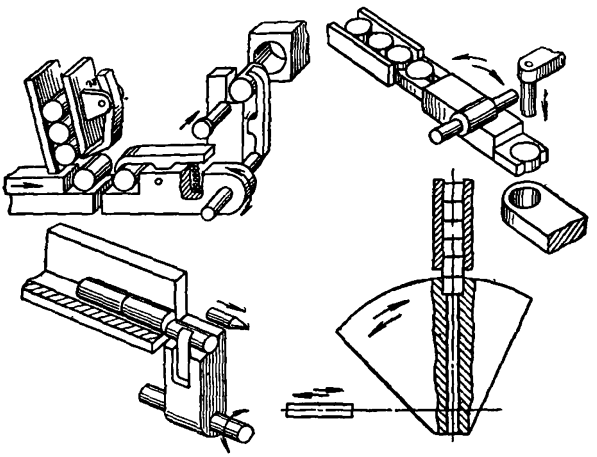


Рис. 43. Маятниковые питатели

В качестве индивидуального привода механизмов периодического движения применяют пневматические и гидравлические механизмы. Для получения движений с остановами — шарнирно-зубчатые, дифференциальные, шарнирно-рычажные, кулисно-рычажные и др.

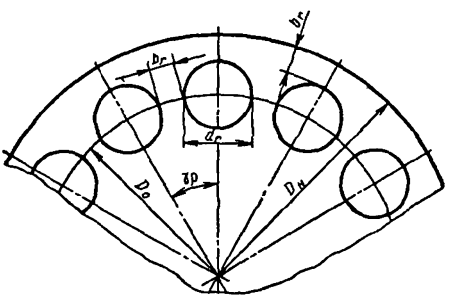
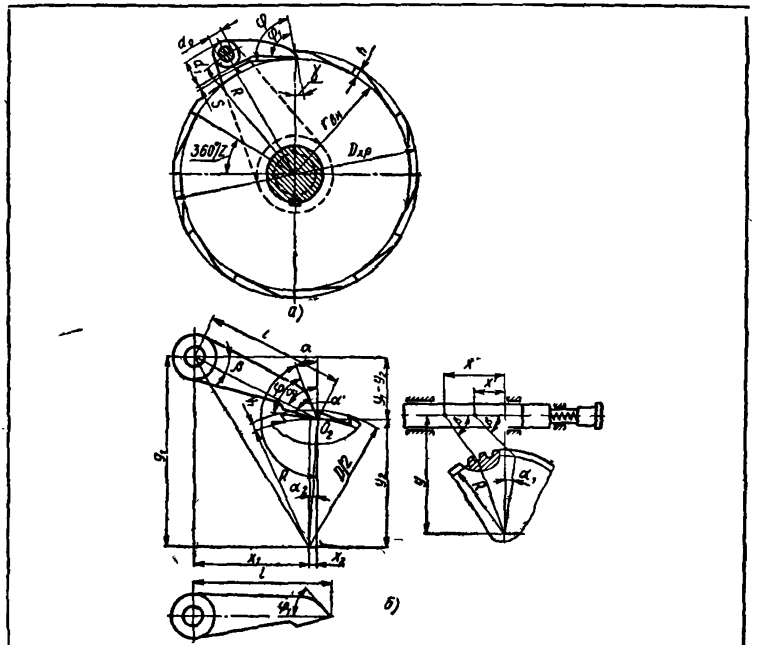


Рис. 44. Расчетная схема диска револьверного питателя

Для расчета основных параметров диска (рис. 44) револьверного питателя используют следующие формулы.

Диаметр окружности центров гнезд $D_0 = \dfrac{d_r + b_r}{\sin \dfrac{\gamma_p}{2}}$. Наружный диаметр диска $D_н = D_0 + d_r + 2b'_r$.

15. Расчет храповых механизмов



Определяемый параметр	Формула
Храповые механизмы с вращающейся собачкой (эск. *а*)	
Угол поворота храпового колеса	$\alpha = \frac{360}{z} k$
Угол качания собачки	$\beta = \alpha + \beta^{\circ}$
Радиус расположения центра собачки	$R = \frac{D_{хр}}{2} + \frac{d_1}{2} + S$
Радиус храпового колеса по впадинам зубьев	$r_{вв} = \frac{D_{хр}}{2} - h$
Храповые механизмы с возвратно-поступательным движением собачки (эск. *б*)	
Ход ползушки	$s = s_p + s_x$
Ход ползушки, соответствующий повороту рабочего органа на угол γ_p	$s_p = 2R_0 \sin\frac{\gamma_p}{2}$ $R_0 = 0{,}25\,(D + D_1)$

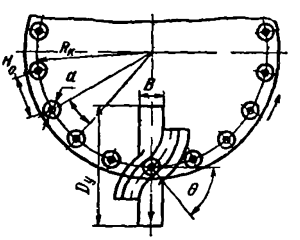
Продолжение табл. 15

Определяемый параметр	Формула
Координаты центра качания собачки	$x = \pm r \sin\alpha + l\cos\beta$ $y = r\cos\alpha + l\cos\beta$
Координаты x последовательных положений собачки относительно оси, проходящей через центр храпового колеса и перпендикулярно к оси ползушки несущей собачки	$x = \pm r\sin\alpha + l\sqrt{1-\left(\frac{D-r\cos\alpha}{l}\right)^2}$

Примечания 1. Обозначения: α — угол поворота колеса; k — число зубьев колеса, захватываемых собачкой при повороте рабочего органа питателя из позиции в позицию; z — число зубцов храпового колеса; β — угол качания собачки; β' — дополнительный угол качания рычага с собачкой, увеличивающий надежность заскакивания собачки во впадину зуба, $D_{хр}$ — наружный диаметр храпового колеса; d_1 — диаметр бобышки собачки; h — высота зуба; s — зазор между бобышкой и вершиной зуба; vs_x — перебег ползушки; s_p — ход ползушки, соответствующий повороту рабочего органа на угол γ_p; R_0 — радиус контакта собачки с диском, D — наружный диаметр диска; D_1 — диаметр впадин диска.

2. Передний угол зуба принимают равным 8—12°, угол впадины зуба равен 45—80°, а угол при вершине носика собачки равен —5°.

16. Расчет кулачково-роликового механизма поворота



Угол заложения кулачка улиты	$\varphi = 360°\left(\frac{T_п}{T}\right)$
Расстояние между центрами роликов на карусели	$H_0 = 2R_к \sin\frac{180°}{z_к}$
Коэффициент, характеризующий закон движения	$k_{min} = 4H_0(\varphi_0 D_у\ \operatorname{tg}\theta) - 1$ (θ — угол давления, обычно $\theta < 40°$)
Наружный диаметр кулачка улиты	$D_н = D_у + b$
Толщина блокирующей части кулачка	$B = H_0 - d_р$

Продолжение табл. 16

Длина переводящей части кулачка улиты по наружному диаметру	$L = \frac{\pi D_н \varphi_0}{360°}$
Угол переводящей части кулачка улиты, на котором подъем выполнен по прямой линии	$\varphi_п = k_{min}\, \varphi_0$
Длина участка кулачка, выполненного по прямой линии (по наружному диаметру кулачка)	$L_п = \frac{\pi D_н \varphi_п}{360°}$
Параметры участков кулачка, выполняемого по синусоиде	$\varphi_с = \frac{\varphi_0 - \varphi_п}{2}$
Длина участка кулачка, выполненного по синусоиде (по наружному диаметру кулачка)	$L_0 = \frac{\pi D_н \varphi_с}{360°}$
Координаты профиля паза кулачка улиты выполнены по синусоиде (расчет координат профиля кулачка производят через каждые 0,5, т. е. $\varphi = 0{,}5°$)	$h = H_0 \left[\frac{\varphi}{\varphi_0} - \frac{\pi}{2} \sin \frac{360}{\varphi^2} \varphi \right]$
Для синусоидального закона Наибольшая величина коррекции в средней точке профиля паза кулачка	$k_{нб} = R_к - \sqrt{R_к^2 - \frac{H_0^2}{4}}$
Статический момент в опорах карусели	$M_{ст} = k_1 \frac{D_0 G}{d_м}$
Максимальное угловое ускорение карусели для комбинированного закона	$\varepsilon_{max} = \frac{2\pi\varphi_р}{t_п^2} \frac{1}{(1 - k^2)} \varphi_р = \frac{2\pi}{z_к}$
Максимальное действительное ускорение карусели (с учетом коэффициента динамичности)	$\varepsilon_{д\ max} = k_д \varepsilon_{max}$
Момент инерции вращающихся частей	$J_z = \frac{Gr^2}{2g}$
Максимальный динамический момент	$M_{дин\ max} = \varepsilon_{д\ max} J_z$
Наибольший суммарный момент сопротивления	$M_{с\ max} = M_{ст} + M_{дин\ max}$
Максимальное окружное усилие прикладываемое к ролику Нормально действующее усилие на ролик	$P_{р\ max} = \frac{M_{с\ max}}{R_к}$
	$N_{max} = \frac{P_{р\ max}}{\cos \theta_ф}$

$\theta_ф$ — фактический угол давления

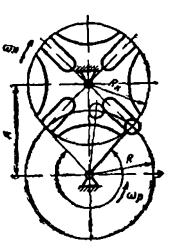
Продолжение табл 16

Окружное усилие на кулачке	$P_{к\,max} = N_{max} \sin \theta_ф$
Напряжение в месте контакта ролика с пазом кулачка	$\sigma_к = 0{,}418 \sqrt{\frac{N_{max}}{l} E \left(\frac{1}{r_р} + \frac{1}{\rho_к}\right)}$
Допускаемые контактные напряжения	$[\sigma_к] = HRC\, K_м$ ($K_м = 240 \div 300$)
Проверка оси ролика на прочность при изгибе	$\sigma_и = \frac{M_и}{W}$ ($M_и$ — изгибающий момент, действующий на ось ролика, W — момент сопротивления изгибу оси ролика)
Изгибающий момент, действующий на ролик	$M_и = N_{max}\, l$
Момент сопротивления изгибу	$W = \frac{\pi d_0^3}{32}$
Диаметр оси ролика	$d_0 = (0{,}5 \div 0{,}6)\, d_р$ ($d_р$ — диаметр ролика)
Мощность, необходимая для поворота карусели	$N_к = \frac{M_{с\,max}\, \omega_{max}}{1000 \eta_{пр}}$ ($\eta_{пр}$ — общий КПД привода)
Максимальная угловая скорость карусели для комбинированного синусоидального закона	$\omega_{max} = \frac{2\varphi_0}{t_п (1 + k)}$,

Примечания: 1. Для расчета кулачково-роликового поворота должны быть заданы: $z_к$ — число роликов на карусели; $R_к$ — радиус расположения роликов на карусели, мм; $t_п$ — время поворота карусели, с; $t_с$ — время стояния карусели, с; $D_у$ — средний диаметр улиты, мм; $T = t_п + t_с$ — время цикла; G — масса карусели с закрепленными на ней деталями, кг.

2. Выбор углов *деления* — *см.* работу [4]

17. Расчет мальтийского механизма поворота с внешним зацеплением



Углы поворота мальтийского креста и кривошипа	$\alpha = \frac{360°}{z_к}$; $\beta = 180° - \alpha$

Продолжение табл 17

Длина кривошипа	$R = A \sin \alpha/2$
Радиус мальтийского креста	$R_к = A \cos \alpha/2$
Диаметр ролика кривошипа	$d_р \approx \frac{R}{3 \div 4}$
Длина паза креста	$l = R + R_к - A + \frac{d_р}{2}$
Наружный диаметр креста	$D_к = 2\left(\sqrt{R_к^2 + \left(\frac{d_р}{2}\right)^2} + C\right)$
Диаметр вала креста	Выбирают из конструктивных соображений при условии соблюдения неравенства $d < 2\left(A - R - \frac{d_р}{2}\right)$
Диаметр валка кривошипа	Выбирают конструктивно $d_{кр} < 2\,(A - R_{кр})$
Угловая скорость кривошипа	$\omega_{кр} = \frac{z_{кр} + 2\pi}{z_{кр} t_п}$ ($t_п$ — время стоянки стола)
Частота вращения кривошипа	$n_{кр} = \frac{z_{кр} + 2}{z_{кр}} \frac{30}{t_п}$
Угловая скорость креста	$\omega_{max} = \frac{\lambda}{1 - \lambda} \omega_к;\ \lambda = \frac{R}{A}$
Значения ускорения креста в начале и конце поворота	$\varepsilon_{нач\ (кон)} = \operatorname{tg} \frac{\pi}{z_к} \omega_к^2$
Максимальное угловое ускорение креста	$\varepsilon_{max} = \pm \frac{\lambda (1 - \lambda^2) \sin \varphi_э}{(1 - 2\lambda \cos \varphi_э + \lambda)^2} \omega_к^2;$ $\varphi_э = \sqrt{\left(\frac{1 + \lambda^2}{4\lambda}\right)^2 + 2} - \frac{1 + \lambda^2}{4\lambda}$
Статический момент сил трения в *опорах*	$M_{ст} = K_1 \frac{D_о}{d_ш} G$ ($d_ш$ — диаметр шариков)
Максимальное усилие на ролике кривошипа	$P_{рmax} = \frac{M_{ст}}{A}(a + bB)$ (a, b — по табл. 18), $B = \frac{J_к \omega}{M_{ст}};\ J_к = \frac{G}{2g} r^2$ ($J_к$ — момент инерции, приведенный к валу креста)

Продолжение табл. 17

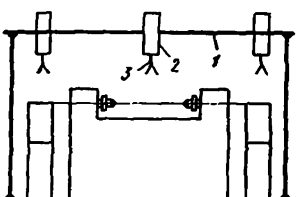
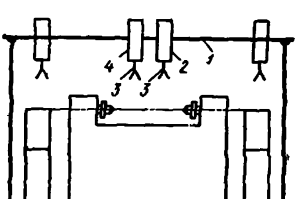
Максимальный момент сопротивления на валу креста	$M_{c\,max} = M_{ст}(1 + K_{\varepsilon\,max} B)$; $K_{\varepsilon\,max} = \frac{\varepsilon_{max}}{\omega_к^2}$
Средний крутящий момент на валу кривошипа	$M_{кр} = \frac{M_{ст}}{\eta_м}(g + mB)$ (значения g и m — см. табл. 18)
Средняя мощность, необходимая для поворота креста	$N_{ср} = \frac{M_к \omega_к}{1000}$
Максимальный крутящий момент на валу кривошипа	$M_{кр\,max} = UM_{кр}$
Проверка ролика кривошипа на прочность при изгибе	$d_р \geqslant \sqrt[3]{\frac{32M_и}{\pi[\sigma_и]}}$, где $M_и = P_{р\,max} l_1$ (l_1 — расстояния от места заделки до точки приложения силы $P_{р\,max}$ на оси ролика кривошипа)
Проверка вала кривошипа на прочность при кручении, мм	$d_{кр} \geqslant \sqrt[3]{\frac{16M_{кр\,max}}{\pi[\tau_к]}}$
Проверка вала креста на прочность при кручении, мм	$d_к \geqslant \sqrt[3]{\frac{16M_{к\,max}}{\pi[\tau_к]}}$
Проверка поверхности паза креста и ролика кривошипа на контактные напряжения, Н/мм²	$[\sigma_{кр}] \geqslant 0{,}418\sqrt{\frac{2P_{р\,max}\varepsilon_{max}}{d_р b_1}}$ (b_1 — толщина креста, $d_р$ — диаметр ролика)

Примечание. Для расчета мальтийского механизма должны быть заданы: число пазов креста $z_к$; межосевое расстояние A; время стоянки карусели $t_п$; масса карусели G; приведенный радиус карусели r; угол поворота креста α.

18. Значения коэффициентов a, b, g, m, U, принимаемых при расчете мальтийских механизмов

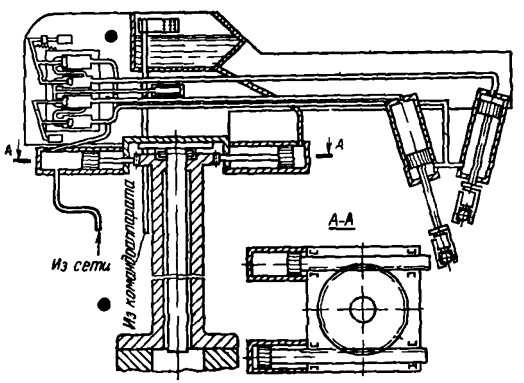
Число пазов креста	a	b	m	g	U
3	7,46	20,7	39,9	2,000	4,00
4	3,41	16,3	3,71	1,000	2,70
6	2,00	2,39	0,477	0,500	2,07
8	1,62	1,01	0,163	0,333	1,88
10	1,45	0,602	0,0795	0,250	1,79
12	1,35	0,422	0,0465	0,200	1,73

19. Типовые конструкции комбинированных питателей (автооператоров) для валиков [2, 9]

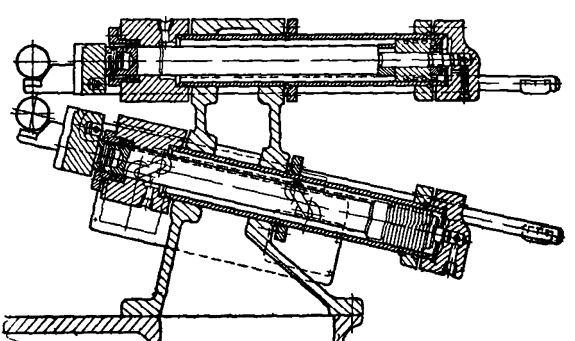
Наименование и эскиз	Характеристика
Портальное загрузочное устройство с двуруким питателем	Загрузка осуществляется через верхнюю открытую зону станка. Загрузочное устройство имеет над станком балку *1*, у которой принудительно передвигается каретка *2* с двумя одинаковыми питателями *3*, перемещающимися под небольшим углом к вертикали. По окончании обработки один захват поднимает обработанную деталь, а второй вводит в зону обработки новую заготовку. С двух сторон заготовки станка установлены магазины-транспортеры: один для заготовок, другой для деталей. Перемещение каретки по порталу осуществляется от электродвигателей и червячных редукторов
	
Портальное загрузочное устройство с двумя независимо однорукими питателями	Устройство аналогично предыдущему и отличается только наличием двух кареток *2* и *4*, на которых смонтированы питатели *3*
	

Продолжение табл 19

Наименование и эскиз	Характеристика
Загрузочное устройство для валиков типа поворотного крана	Загрузка осуществляется через верхнюю открытую зону станка Заготовки и обработанные детали находятся в магазине транспортера, расположенном вдоль станка Стрела, несущая питатели, поворачивается от пневмоцилиндров На стреле смонтированы питатели, получающие осевые перемещения от пневмоцилиндров Загрузочные устройства позволяют регулировать высоту стойки и длину вылета стрелы

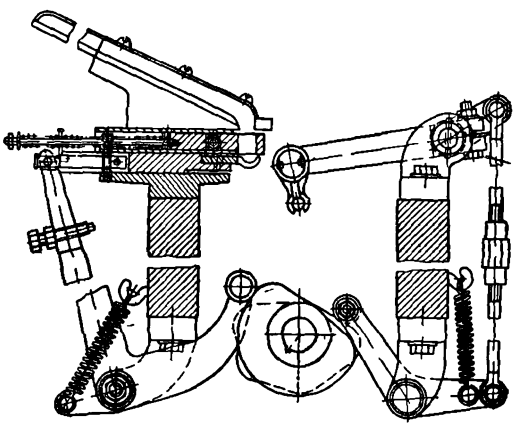


Загрузочное устройство с двумя питателями, имеющими открытые захваты	Устройство работает с боковой трассой загрузки заготовок Питатели расположены один над другим Захваты выполнены в виде призм



Продолжение табл. 19

Наименование и эскиз	Характеристика
Загрузочное устройство с питателем, имеющим возвратно-поступательное перемещение для вывода заготовок из магазина и колебательные движения в рабочую зону станка	Загрузочное устройство снабжено двумя питателями, имеющими управление от кулачкового вала. Шиберный питатель выводит заготовку из *магазина*, а маятниковый с клещевым захватом перемещает ее в рабочую зону станка

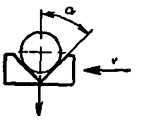
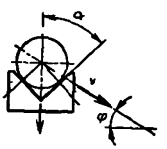
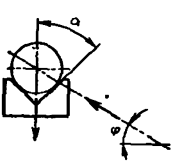
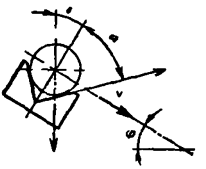
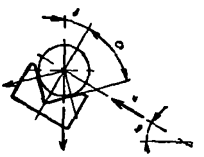


Толщину диска для простых заготовок берут равной 3—5 толщинам заготовки.

Окружная скорость диска по центрам гнезд $v_д = \frac{\pi D_0 n}{60 z_1}$, где D_0 — диаметр окружности центра гнезд; $d_г$ — диаметр гнезда; $b_г$ — ширина перемычки между гнездами (по окружности центров гнезд); $b_г = (0{,}1 \div 0{,}3)\, d_г$; $\gamma_р = \frac{360°}{z_1}$ — угол поворота диска за один цикл; z_1 — число гнезд; $v_д$ — окружная скорость диска по центрам гнезд; $D_н$ — наружный диаметр диска; $b'_г$ — наименьшая ширина перемычки между гнездами и наружным диаметром диска, $b'_г = (0{,}2 \div 0{,}5)\, d_г$. Для револьверных питателей, требующих периодически прерывистого движения рабочего органа, который несет заготовки, используют в качестве привода храповые, кулачково-цевочные механизмы. Расчет этих механизмов приведен в табл. 15—18 [4, 7, 9, 11].

Комбинированные питатели (автооператоры) со сложной траекторией перемещения применяют в процессе передач заготовок из магазина или транспортера в рабочую зону станка. Траектория движения рабочего органа питателя образуется из сочетания взаимно перпендикулярных прямых, прямых с дугами окружности или дуг окружности, распо-

20. Допускаемое ускорение призматических захватов, в которых заготовки типа валов не зажаты

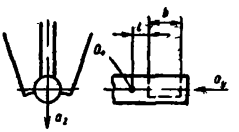
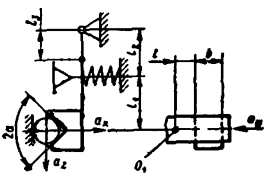
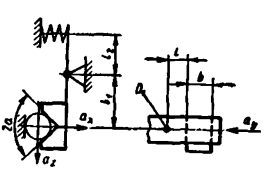
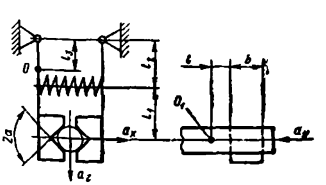
Движение захвата	Расчетная схема	Угол наклона призмы и захвата	Ускорение a, м/с² *
По горизонтальной плоскости		$\gamma = 0$ $\varphi = 0$	$g \operatorname{ctg} \alpha$
Под углом φ к горизонтальной плоскости (ускорение под углом φ направлено вверх, призма захвата занимает горизонтальное положение)		$\gamma = 0$ $\varphi > 0$	$\frac{g \cos \alpha}{\sin (\alpha + \varphi)}$
Под углом φ к горизонтальной плоскости (ускорение под углом φ направлено вниз, призма захвата занимает горизонтальное положение)		$\gamma = 0$ $\varphi > 0$	$\frac{g \cos \alpha}{\sin (\alpha - \varphi)}$
Под углом φ к горизонтальной плоскости (захват расположен параллельно траектории движения; ускорение под углом φ направлено вверх		$\gamma = \varphi > 0$	$\frac{g \cos (\alpha + \varphi)}{\sin \alpha}$
Под углом φ к горизонтальной плоскости (захват расположен параллельно траектории движения, ускорение под углом φ направлено вниз)		$\gamma = \varphi > 0$	$\frac{g \cos (\alpha - \varphi)}{\sin \alpha}$

* При расчете ускорения коэффициентом трения качения ввиду его малости пренебрегают

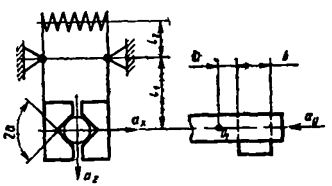
Примечание. Оптимальный угол поворота γ призмы захвата относительно траектории движения, при котором максимально допустимые ускорения разгона равны максимально допустимому ускорению торможения, рассчитывают по формуле

$$\gamma = \frac{1}{2}[\varphi + \arcsin(\sin \varphi \cos 2\alpha)]$$

21. Формулы для расчета усилия зажима в неуправляемых захватах (по данным ВНИТИприбор)

Расчетная схема захвата	Формула
1 	$Q_{\min} \geqslant \max \begin{cases} \dfrac{mK(a_z+g)(l+b)}{fb} \\ \dfrac{mKa_x}{f} \end{cases}$
2. 	$p \geqslant \max \begin{cases} \dfrac{m(a_z+g)K_1(l+b)\times}{\times(l_1+l_2)}{bl_2} \pm \\ \pm \dfrac{m_1K_1}{l_2} a_x l_3; \\ \dfrac{ma_yK_1(l_1+l_2)\sin\alpha}{l_2(1+\sin\alpha)f} \pm \\ \pm \dfrac{m_2K_1a_xl_3}{l_2} \end{cases}$
3 	$p \geqslant \max \begin{cases} \dfrac{m(a_z+g)K_1(l+b)\times}{\times l_1 \operatorname{tg}\alpha}{bl_2}; \\ \dfrac{ma_yK_1l_1\sin\alpha}{l_2(1+\sin\alpha)f} \end{cases}$
4. 	$p \geqslant \max \begin{cases} \dfrac{m(a_z+g)K_1(l+b)\times}{\times(l_1+l_2)K_2}{2bl_2} \pm \\ \pm \dfrac{m_1K_1a_xl_3}{l_2}, \\ \dfrac{ma_yK_1(l_1+l_2)\sin\alpha}{2lf} \pm \\ \pm \dfrac{m_1K_1a_xl_3}{l_2} \end{cases}$

Продолжение табл 21

Расчетная схема захвата	Формула
Б 	$p \geqslant \max \begin{cases} \dfrac{m\,(a_z + g)\,K_1\,(l+b)\,l_1 K_2}{2bl} \\ \dfrac{m a_y K_1 l_1 \sin\alpha}{2l_2 f} \end{cases}$

Примечания 1 Обозначения: Q — усилие зажима заготовки при гарантированном натяге, p — рабочая нагрузка пружины при закреплении захватом заготовки номинального диаметра, m — масса заготовки, $m_г$ — масса губки захвата, a_x, a_y, a_z — мгновенные значения составляющих ускорения захвата при транспортировке, g — ускорение свободного падения, K_1 — коэффициент запаса, $K_1 = 1{,}2 \div 1{,}5$, f — коэффициент трения, принимается равным 0,1, b — длина губок захвата, l — расстояние от центра тяжести заготовки до губок захвата, мм l_1, l_2 — расстояние между осями элементов захвата (пружины, шарниры, призмы), l_3 — расстояние между центром тяжести губок и осью шарнира 2 В расчетных схемах точка O — центр тяжести губки захвата, а O_1 — центр тяжести заготовки 3 В схемах 3 и 5 центр тяжести губки совпадает с осью шарнира Расчет рекомендуется производить, принимая максимальные значения составляющих ускорения захвата, причем направление составляющих, ускорения a_x и a_z должны совпадать с направлением ускорения, показанным на схемах 2—5, $K_2 = \min \left\{ \dfrac{\operatorname{tg}\alpha}{x} \right.$

ложенных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Такие питатели чаще называют автооператорами или механическими руками. Эти питатели разнообразные по конструктивному исполнению [4, 8]. Наиболее часто используемые питатели приведены в табл. 19. В комбинированных питателях основной элемент питателя (захват) совершает сложное периодическое движение в нескольких плоскостях, а заготовки перемещаются по ломаной или плавной кривой траектории.

Захваты питателей (автооператоров) (см. раздел «Промышленные роботы») делятся по способу захватывания на незажимные и зажимные, по действию захвата, — на неприводные и приводные, по захватываемой поверхности — на наружные и внутренние, по роду привода — на механические, вакуумные, магнитные и электромагнитные.

Захваты питателей не должны повреждать поверхности заготовок и быстро переналаживаться (если они универсально-наладочные) на обработку заготовок другого типоразмера.

Захваты питателей, не зажимающие заготовки, выполняют в виде призматического выреза или отверстия. Если заготовка (втулка) захватывается за внутреннюю поверхность, то захват имеет форму ступенчатого валика (рис 41, *д*), диаметр d' конца захвата на 0,5—0,7 мм меньше диаметра D отверстия заготовки; длина конца захвата l' должна быть не более диаметра D отверстия подаваемой заготовки, что обеспечивает

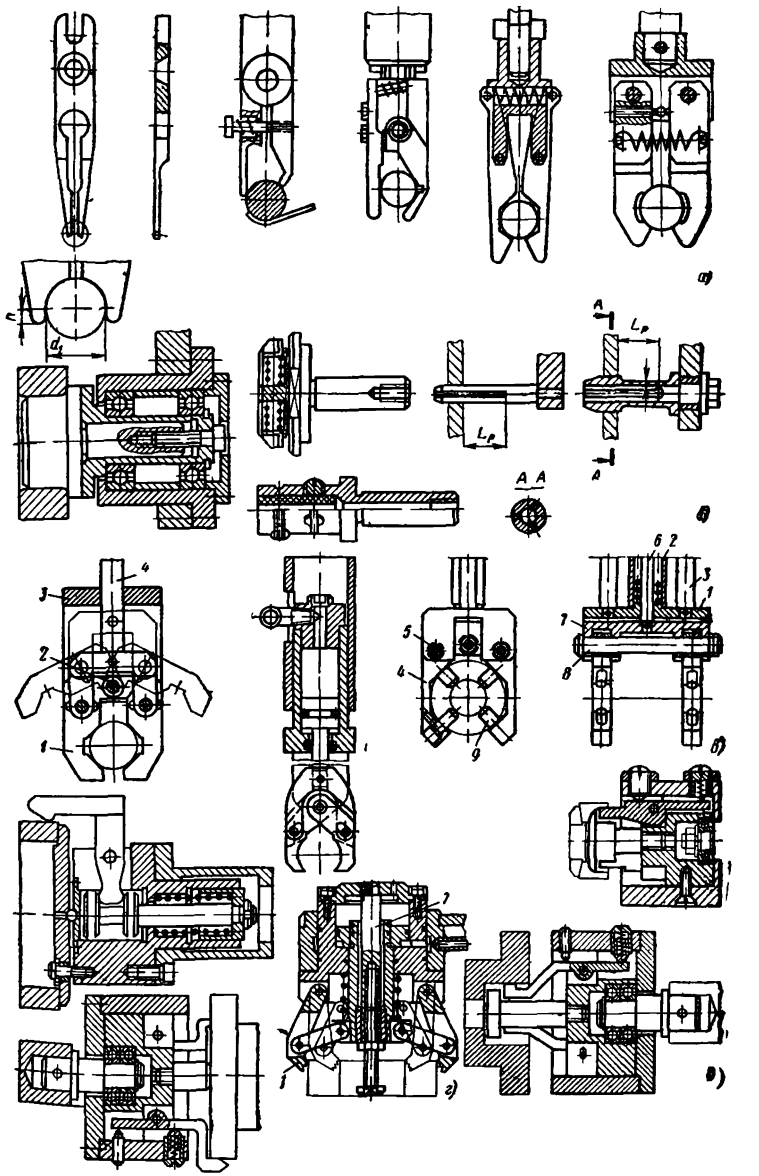
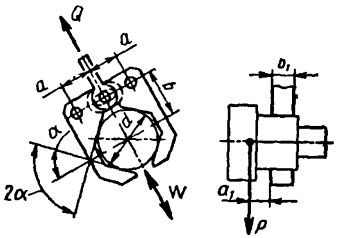
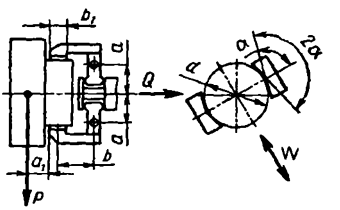
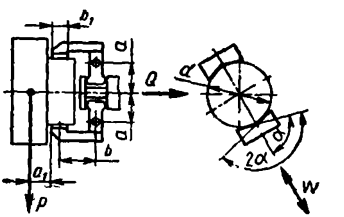
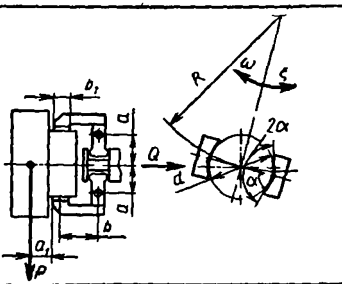


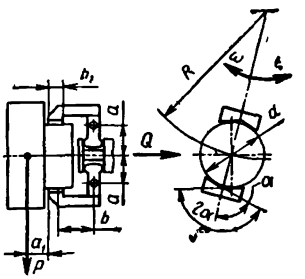
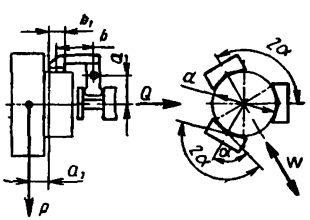
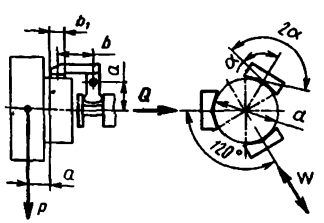
Рис. 45. Захваты, зажимающие заготовки:

а — неуправляемые типа пинцета или клещей для валиков, *б* — неуправляемые для втулок, *в* — клещевые управляемые для валиков, *г* — патронные для захвата за наружную поверхность, *д* — оправочные

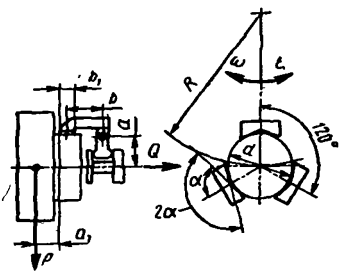
22. Формулы для расчета сил зажима клещевых и кулачковых захватов

Расчетная схема захвата	Формулы
	$Q = 1{,}3P\left(\frac{W}{g}+1\right)\left(0{,}63\frac{b}{a}+\right.$ $\left.+\frac{1{,}5a_1b}{(b_1+0{,}1d)\,a}\right)k;$ $\alpha = 30 \div 45^\circ$
	$Q = 2{,}84P\frac{b}{a}\left(\frac{W}{g}+1\right)\times$ $\times\left(1+\frac{2a_1}{b_1+0{,}1d}\right)k;$ $\alpha = 65 \div 75^\circ$
	При $W \leqslant 1{,}84g$ $Q = 2{,}84P\frac{b}{a}\left(1+\frac{2a_1}{b_1+0{,}1d}\right)k,$ $\alpha = 65 \div 75^\circ$ При $W > 1{,}84g$ $Q = P\frac{b}{a}\left(\frac{W}{g}+1\right)+$ $+\left(1+\frac{2a_1}{b_1+0{,}1d}\right)k,$ $\alpha = 65 \div 75^\circ$
	$Q = 2{,}84P\frac{b}{a}\left(\frac{\omega^2}{g}R+1\right)\times$ $\times\left(1+\frac{2a_1}{b_1+0{,}1d}\right)k,$ $Q = P\frac{b}{a}\left(\frac{\xi}{g}R+1\right)\times$ $\times\left(1+\frac{2a_1}{b_1+0{,}1d}\right)k,$ $\alpha = 65 \div 75^\circ$

Продолжение табл. 22

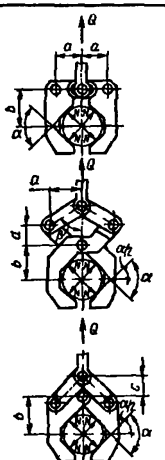
Расчетная схема захвата	Формулы
	$Q = 2{,}84P\frac{b}{a}\left(\frac{\xi}{g}R+1\right)\times$ $\times\left(1+\frac{2a_1}{b_1+0{,}1d}\right)k;$ $Q = P\frac{b}{a}\left(\frac{\omega^2}{g}R+1\right)\times$ $\times\left(1+\frac{2a_1}{b_1+0{,}1d}\right)k;$ $\alpha = 65\div 75°$
	$Q = 1{,}72P\frac{b}{a}\left[\frac{a_1}{b_1+0{,}1d}\times\right.$ $\left.\times\left(1{,}5\frac{W}{g}+2\right)+\left(\frac{W}{g}+1\right)\right]k;$ $\alpha = 75\div 85°$
	$Q = 1{,}72P\frac{b}{a}\left[\frac{a_1}{b_1+0{,}1d}\times\right.$ $\times\left(1{,}5\frac{W}{g}+2\right)+$ $\left.+\left(0{,}5\frac{W}{g}+1\right)\right]k;$ $\alpha = 75\div 85°$

Продолжение табл. 22

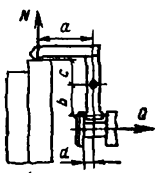
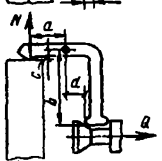
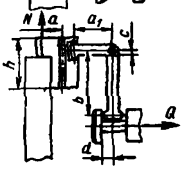
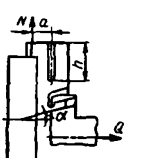
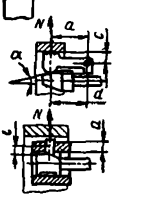
Расчетная схема захвата	Формулы
	$Q = P\frac{b}{a}\left(\frac{\omega^2}{g}R + 1\right) \times$ $\times \left(1{,}72 + \frac{1{,}72a_1}{b_1 + 0{,}1d}\right)k;$ $Q = P\frac{b}{a}\left(\frac{\varepsilon}{g}R + 1\right) \times$ $\times \left(1{,}72 + \frac{1{,}72a_1}{b_1 + 0{,}1d}\right)k;$ $\alpha = 75 \div 85°$

Примечания. 1. Обозначения: $P = mg$, где m — масса захватываемой заготовки; d — диаметр заготовки (детали); R — радиус качания захвата; α — угол призматического углубления зажимных губок; a, b — размеры захватов; a_1 — расстояние от края зажимных губок до центра тяжести заготовки (детали); b_1 — ширина зева захвата, мм; W — ускорение, возникающее при движении захвата; $g = 9{,}81 \cdot 10$ м/с^2 — ускорение свободного падения; ω — угловое ускорение при колебательном движении захвата; ε — угловое ускорение при качательном движении захвата, $k = 1{,}2 \div 2$ — коэффициент запаса 2. Для захватов, совершающих колебательное движение, величину Q определяют с учетом углового ускорения и угловой скорости и принимают большую из них.

23. Силы, возникающие в местах контакта заготовки и зажимных элементов захвата

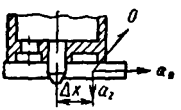
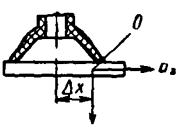
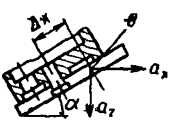
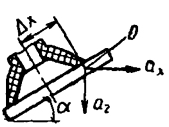
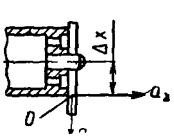
Расчетная схема	Формулы для определения N, кгс
	$Q\frac{a}{4b\sin\frac{\alpha}{2}k};$ $Q\frac{a + d\operatorname{tg}\beta}{4b\sin\frac{\alpha}{2}k};$ $Q\frac{c\cdot\operatorname{tg}\beta}{4b\sin\frac{\alpha}{2}k}$

Продолжение табл. 23

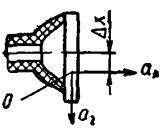
Расчетная схема	Формулы для определения N, кгс
	$Q\,\frac{b - f_2 d}{n\,(a + f_1 c)\,k}$
	$Q\,\frac{d\,\mathrm{ctg}\,(\alpha + \rho) + b}{n\,(a + f_1 c)\,k}$;
	$Q\,\frac{b - f_2 d}{n\,(a + f_2 c)\left(1 + \frac{a_1}{h} f_4\right) k}$
	$\frac{Q}{n\left(1 + 3\,\frac{a}{h} f_4\right) \mathrm{tg}\,(\alpha + \rho)\,k}$;
	$Q\,\frac{b + d\,\mathrm{ctg}\,(\alpha + \rho)}{n\,(a + fc)\,k}$;
	$Q\,\frac{1 - \mathrm{tg}\,(\alpha + \rho)\,\mathrm{tg}\,\rho_{2\mathrm{пр}}}{n\,\mathrm{tg}\,(\alpha + \rho)\,k}$, $\mathrm{tg}\,\rho_{2\mathrm{пр}} = \frac{3f}{a}\,\mathrm{tg}\,\rho_1$

Обозначения: n — число зажимных губок или кулачков, f_1 — коэффициент трения между поверхностями заготовок и зажимных элементов захвата; f_2 — коэффициент трения между поверхностями зажимного элемента; f_3 — коэффициент трения между поверхностями кулачков и зажимного рычага; f_4 — коэффициент трения в направляющих кулачка; ρ — угол трения, $\rho = \mathrm{arctg}\,f_3$; ρ_1 — коэффициент трения плунжера; k — коэффициент, учитывающий потери на трение.

24 Проверка условий удерживания детали вакуумным захватом (по данным ВНИТИприбор)

Расчетная схема	Расчетная формула
1 	$\frac{\Delta P}{mk_1k_2} F_3 \geq g + a_2$
2. 	$\left[\frac{\Delta P}{mk_1k_2} F_3 - (g + a_2)\right] f \geq a_x$
3 	$\frac{\Delta P}{mk_1k_2} F_3 \geqslant a_z \cos\alpha + a_x \sin\alpha$
4 	$\left[\frac{\Delta P}{mk_1k_2} F_3 - (a_z \cos\alpha + a_x \sin\alpha)\right] f \geqslant (a_z + g) \sin\alpha + a_x \cos\alpha$
5 	$\frac{\Delta P}{mk_1k_2} F_3 \geqslant a_x$

Продолжение табл 24

Расчетная схема	Расчетная формула
6 	$\left[\frac{\Delta P}{mk_1k_2}F_э - a_x\right] f \geq g + a_z$

Примечания 1 Точка O — центр тяжести заготовки 2 Обозначения ΔP — разность давления воздуха окружающей среды и внутри захвата Для вакуумных захватов с уплотнительным кольцом соединенных с вакуумным насосом, давление внутри полости захвата принимают равным величине вакуума, создаваемого насосом, для вакуумных захватов без уплотнительного кольца и для неуправляемых захватов с уплотнительным кольцом разность давления принимать $\Delta P = 0{,}3 \div 0{,}35$ кгс/см², $F_э$ — эффективная площадь захвата Для круглых захватов с уплотнительным кольцом $F_э \approx (0{,}6 \div 0{,}7) F_н$, где $F_н$ — площадь поверхности, ограниченная наружной линией контакта захвата с заготовкой Для захватов без уплотнительного кольца в качестве значения $F_э$ принимают площадь поверхности, ограниченную внутренними линиями контакта захвата с заготовкой, m — масса заготовки, g — ускорение свободного падения, м/с² a_x, a_z — соответственно мгновенные значения горизонтальной и вертикальной составляющих ускорения захвата при транспортировании При расчете по схемам 1 и 5 в формулы подставлять максимальные значения составляющих ускорения, k_1 — коэффициент запаса при отрыве заготовки в направлении, перпендикулярном к плоскости захвата (рекомендуемое значение $k_1 = 2$), k_2 — коэффициент, учитывающий смещение точки приложения подъемной силы и центра тяжести заготовки Для круглых захватов $k_2 = \frac{r}{r + \Delta x}$, где r — средний радиус уплотнительной поверхности захвата, Δx — величина смещения точки приложения подъемной силы и центра тяжести заготовки, f — коэффициент трения между заготовкой и захватом (рекомендуемые значения для металлических захватов и стальных заготовок $f = 0{,}17$) для резиновых манжет и стальных заготовок $f = 0{,}3$

ее устойчивое положение в момент перемещения в зажимное приспособление станка

При проектировании захватов с призматическим углублением (табл 19), в которых заготовки не зажаты, определяют максимально допустимое ускорение рабочего органа, в захвате которого лежит заготовка (при этом заготовка не должна терять ориентации), угол призматического углубления захвата, при котором погрешность базирования подаваемой заготовки была наименьшей, а устойчивость заготовки в процессе движения рабочего органа питателя — наибольшей, и оптимальный закон движения рабочего органа.

Максимально допустимое ускорение рабочего органа питателя с захватом призматического типа приведено в табл. 20

Схемы неуправляемых клещевых захватов приведены на рис. 45, *а* Эти захваты выполняют по типу пинцета, с одной неподвижной и одной подвижной губками и с двумя подвижными губками, находящимися под действием пружин. Во всех типах захватов этой категории раскры-

тие губок осуществляется при контакте захвата с заготовкой, для чего на губках предусмотрены скосы. Формулы для расчета усилий зажима заготовок и рабочей нагрузки пружин приведены в табл. 21.

Клещевые неуправляемые захваты (рис. 45, *а*) имеют следующие недостатки: губки раскрываются заготовкой, а следовательно, поверхность заготовки может быть повреждена; при значительной массе заготовки трудно обеспечить точное ее положение; не всегда удается создать необходимую силу зажима при соблюдении условия контактности захвата.

Конструкция неуправляемых захватов для захвата заготовок за отверстие показана на рис. 45, *б*.

Схемы управляемых клещевых захватов показаны на рис. 45, *в*. В этих захватах раскрытие и закрытие губок происходит принудительно в результате перемещения штока пневмо- или гидроцилиндра.

К этой же категории захватов следует отнести клещевые поворотные захваты.

Захваты клещевые поворотные используют в питателях для станков с открытой верхней зоной. Питатели имеют два захвата, один из которых осуществляет загрузку заготовок, а другой — выгрузку обработанной детали. Поворот захвата осуществляется от пневматического цилиндра, шток-рейки и зубчатого колеса. Раскрытие клещей захвата осуществляется от упоров, установленных на захвате и транспортере, несущем заготовки и обработанные детали.

Формулы для расчета управляемых клещевых захватов приведены в табл. 22.

При захвате заготовок типа колец, втулок, дисков за наружную поверхность применяют патронные захваты, а за внутреннюю — оправочные (цанговые, кулачковые, шариковые) (рис. 45, *г* и *д*). Формулы для расчета усилия зажима приведены в табл. 22 и 23. Патронные и оправочные захваты бывают неуправляемыми и управляемыми. С конструкциями этих захватов можно познакомиться в работе [9].

Вакуумные захваты. Принцип действия заключается в том, что на определенном участке заготовки (детали), предназначенной для захвата, создается разность давлений воздуха.

Основные преимущества вакуумных захватов перед механическими — конструктивная простота и неповреждаемость поверхности захватываемых заготовок (деталей).

Формулы для проверки возможности удержания заготовки вакуумных захватов по данным ВНИТИприбора приведены в табл. 24. С конструкцией вакуумных захватов можно ознакомиться в работах [9, 11].

Магнитные захваты. Для захватов используют литые или оксидно-бариевые магниты. Последним следует отдать предпочтение как более дешевым. Магниты выполняют в виде пластин, роликов и специальных захватов. Преимущество магнитных захватов — простая конструкция, возможность захвата заготовок любой конфигурации, отсутствие повреждения поверхности заготовок.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРЕССОВ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ

Для подачи ленточного материала используют валковые, роликоклиновые и клещевые механизмы подач, для листов — специальные механизмы подач, а для штучных заготовок — револьверные и шиберные

25. Основные данные валковых подач

Параметр	ВП32	ВП29	ВП30	ВП31	ВП35	ВП37
Размеры подаваемой ленты, мм						
ширина:						
наибольшая	40	63	100	160	250	315
наименьшая	10	10	10	10	120	200
толщина						
наибольшая	1,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
наименьшая	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
Шаг подачи, мм:						
наибольший	40	63	100	160	250	315
наименьший	10	10	10	10	60	200
Точность подачи по шагу, мм	±0,13	±0,2	±0,3	±0,5	±0,63	±0,75
Средняя скорость подачи (при небольшом шаге), м/мин	—	11,0	12,0	16,0	20,0	22
Номинальное усилие пресса, тс	4—6,3	10—16	25	40—63	100	160
Наибольшее допустимое число ходов пресса в 1 мин (при наибольшем шаге)	—	170	120	100	80	70
Длина по фронту пресса, мм	10	1050 (1170)	1290	1450 (1514)	1790	2169
Усилие подачи, кг	190	270	320	575	850	1200
Модель правильно-разматывающего устройства	—	ПУ8	ПУ7	ПУ9	ПУ9	ПУ10
Модель наматывающего устройства	—	НУ10	НУ9	НУ11	НУ11	НУ17
Модель ножниц для резки отходов	—	НП1	НП1	НП2	НП2	НП2

Примечание. Размеры в скобках указаны для пресса большего усилия.

26. Основные данные ролико-клиновых подач

Параметр	РКП10	РКП9	РКП8	РКП11
Размеры подаваемой ленты, мм				
ширина:				
наибольшая	40	63	100	160
наименьшая	10	16	40	50
толщина:				
наибольшая	1,5	2,5	2,5	2,5
наименьшая	0,3	0,3	0,3	0,3
Шаг подачи, мм:				
наибольший	40	63	100	160
наименьший	10	16	40	50
Точность подачи ленты (при наибольшем шаге), мм	±0,5	±0,08	±0,1	±0,12
Расстояние от подштамповой плиты пресса до уровня подачи ленты, мм:				
наибольшее	85	90	100	110
наименьшее	45	60	70	80
Масса, кг	64	140	150	200
Усилие пресса, тс	4—6,3	10—16	25	40—63

27. Основные данные клещевых подач

Параметры	КП6	КП7	КП8
Размеры подаваемой ленты, мм:			
ширина:			
наибольшая	100	160	200
наименьшая	10	10	10
толщина:			
наибольшая	2	2	2
наименьшая	0,1	0,1	0,2
Шаг подачи, мм	0—100	0—160	0—200
Точность подачи (при наибольшем шаге), мм	±0,1	±0,13	±0,2
Средняя скорость подачи при наибольшем шаге, м/мин	12	16	18
Расстояние от подштамповой плиты пресса до уровня подачи ленты, мм	100—135	130—165	160—250
Наибольшее допустимое число ходов в 1 мин (при наибольшем шаге)	120	100	90
Номинальное усилие пресса, тс	16—25	40	63—100
Номинальное давление воздуха в сети, кгс/см²	4—5	4—5	4—5
Габарит, мм	500×200	620×240	700×275
Высота, мм	215—250	220—255	265—355
Масса, кг	64	70	85
Модель правильно-разматывающего устройства	ПУ8	ПУ9	ПУ9
Модель наматывающего устройства	НУ10	НУ11	НУ11
Модель ножниц для резки отхода	НП1	НП2	НП2

28. Основные данные правильно-разматывающих устройств

Параметр	ПУ8	ПУ7	ПУ9	ПУ10	ПУ11
Наибольший размер ленты, мм:					
ширина	63	140	250	400	160
толщина	1,4	1,8	4	3,6	1,5
Скорость разматывания ленты, м/с	0,04—0,4	0,04—0,4	0,04—0,4	0,04—0,4	0,04—0,4
Наибольший наружный диаметр рулона, мм	800	1000	1200	1200	1000
Диаметр правильных и тянущих валков, мм	54	80	90	100	—
Количество валков, шт.:					
правильных	5	5	5	5	5
тянущих	2	2	2	2	2
Высота над уровнем пола, мм	1100	1360	1290	1470	1560
Мощность электродвигателя, кВт		1,5	3,2	4,5	—
Габарит в плане, мм	520×2040	570×1790	600×2200	835×2280	960×1600
Масса, кг	620	806	1560	1855	760

29. Основные данные наматывающих устройств

Параметр	НУ10	НУ9	НУ11	НУ17
Ширина ленты наибольшая, мм	63	140	250	400
Толщина ленты наибольшая, мм	1,4	1,6	4,0	3,6
Скорость наматывания, м/с:				
наибольшая	0,4	0,4	0,4	0,4
наименьшая	0,04	0,04	0,04	0,04
Диаметр рулона (наибольший), мм	700	700	1200	1200
Диаметр наматываемого барабана, мм	300	300	340	340
Уровень подачи ленты над полом, мм	450	940	800	750
Мощность электродвигателя, кВт	1,0	1,0	1,3	1,5
Габарит в плане, мм	940×560	1650×740	1850×840	2000×1220
Высота над полом, мм	875	1100	1325	1420
Масса, кг	340	758	550	1020

30. Основные данные автоматических подач для листа

Параметр	АП48	АП49
Размеры подаваемых листов, мм:		
ширина наибольшая	800	1100
длина наибольшая	1600	2200
толщина	0,5—4,0	0,5—4,0
Шаг подачи в продольном и поперечном направлениях, мм:		
наибольший	150	150
наименьший	30	30
Точность подачи по шагу в продольном и поперечном направлениях, мм	±0,1	±0,1
Наибольшее число перемещений листа в 1 мин	100	90
Наименьшее расстояние от захватов листа до оси ползуна пресса, мм	35	35
Габарит установки в плане (вместе с прессом), мм	2350×3400	4060×3100
Усилие пресса, тс	40	63—100
Масса, кг	1800	2000

31. Основные данные револьверных подач

Параметр	РП9А	РП11А
Количество гнезд в диске, шт	10	10
Диаметр отверстия в гнезде под сменный вкладыш, мм	125	160
Диаметр делительной окружности центров гнезд, мм	480	580

Продолжение табл 31

Параметр	РП9А	РП11А
Размеры диска, мм.		
наружный диаметр	700	820
толщина	18	18
Расстояние от подштамповой плиты до нижней плоскости диска, мм	70	70
Высота заготовки, мм:		
наибольшая	35	47
наименьшая	0,8	0,8
Точность совмещения центра гнезда в диске с осью штампа, мм	±0,25	±0,25
Наименьший допустимый ход ползуна пресса, мм	65	85
Габарит в плане (вместе с прессом), мм	1710×1655	2050×1530
Модель пресса	К2126	К2130
Усилие пресса, тс	40	100
Масса (без подштамповой плиты и плиты ползуна), кг	550	705

32. Основные данные шиберных питателей

Параметр	ПШ1А	ПШ2
Наибольший ход шибера, мм	100	250
Наибольшее число подаваемых заготовок в 1 мин	100	70
Расстояние от уровня пола до направляющих шибера, мм.		
наименьшее	790	790
наибольшее	1040	1040
Размеры прямоугольных заготовок, мм		
в направлении подачи	12—90	30—240
перпендикулярно подаче	35—90	90—240
Наименьшая толщина материала заготовок, мм	0,5	1,0
Расход воздуха, м³/мин	0,2	0,38
Габарит, мм	370×750×1070	400×1100×1070
Масса, кг	320	400

механизмы подач. Технические характеристики механизмов подач для прессов, изготовляемых заводами прессового оборудования, приведены в табл. 25—32. Специальные механизмы подач для штучных заготовок приведены в работе [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бобров В. П. Проектирование загрузочно-транспортных устройств к станкам и автоматическим линиям М., Машгиз, 1964, 290 с

2 Брон Л. С., Черпаков Б. И., Чеканов Л. И. Автоматические линии для обработки деталей типа валов (обзор) Серия-1, Станкостроение М., НИИМАШ, 1971 98 с

3 Богуславский Б. Л. Автоматы и комплексная автоматизация. М., «Машиностроение», 1964. 524 с

4. **Волчкевич Л. И., Усов Б. А.** Автооператоры. М., «Машиностроение», 1974 216 с

5. **Волчкевич Л. И., Кузнецов М. М., Усов Б. А.** Автоматы и автоматические линии Ч. II. М., «Высшая школа», 1976. 336 с

6 **Гриншгейн Я. Г., Вайсман Е. Г.** Системы питания автоматов в приборостроении М., «Машиностроение», 1966. 179 с

7. **Капустин И. И., Ильинский Д. Я., Карелин Н. М.** Устройства и механизмы автоматических сборочных машин. М., «Машиностроение», 1968. 289 с

8 **Лебедовский М. О., Федотов А. И.** Автоматизация сборочных работ. Л., Лениздат, 1970. 448 с.

9 **Малов А. Н.** Загрузочные устройства для металлорежущих станков М., «Машиностроение», 1972. 399 с.

10 **Малов А. Н.** Механизация и автоматизация универсальных металлорежущих станков. М., «Машиностроение», 1969. 519 с.

11. **Норицин И. А., Власов В. И.** Автоматизация и механизация технологических процессов ковки и штамповки. М., «Машиностроение», 1967. 388 с.

12 **Повидайло В. А.** Расчет и конструирование вибрационных питателей М., Машгиз, 1962. 152 с.

13. **Автоматизация** загрузки прессов штучными заготовками. М., «Машиностроение», 1975. 280 с. Авт.: В. Ф Прейс, И. С Бляхоров, В. В. Прейс, Н. А Усенко

14. **Рабинович А. Н.** Автоматическое ориентирование и загрузка штучных деталей. Киев, «Техника», 1968 290 с.

Глава 10

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ *

Промышленные роботы (ПР) относятся к классу машин, называемых манипуляторами (М).

Манипулятор — устройство, предназначенное для осуществления перемещений в пространстве тела, удерживаемого захватным устройством. Классификация манипуляторов по методу управления показана на рис. 1.

Промышленный робот — автоматический переналаживаемый манипулятор с программным управлением. В настоящее время ПР в промыш

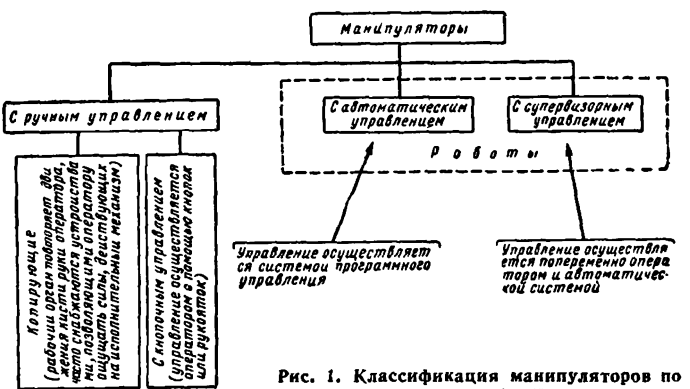


Рис. 1. Классификация манипуляторов по методу управления

ленности заменяет человека (или помогает ему) на участках с опасными, вредными для здоровья или монотонными условиями труда. Отличительной особенностью ПР является их способность к переналадке, вследствие чего их применение наиболее эффективно в условиях частой смены объектов производства, а также при автоматизации ручного низкоквалифицированного труда. Структурная схема, основные узлы механической системы и примеры движений ПР представлены на рис 2.

Система программного управления (СПУ) обеспечивает обучение (программирование), сохранение программы и ее воспроизведение (считывание информации и передачу управляющих сигналов исполнительным органам ПР).

---

* Термины, определения, приведенные в главе, относятся только к классу промышленных роботов.

Информационная система с помощью внешних и внутренних датчиков осуществляет сбор и передачу в СПУ информации о состоянии окружающей среды и функционировании основных узлов и механизмов робота.

Механическая система отрабатывает заданную программу, ее часто называют собственно манипулятором.

Относительные движения звеньев механической системы ПР, посредством которых реализуются степени свободы, разделяются на три группы. ориентирующие (локальные), транспортирующие (региональные) и координатные (глобальные), см. рис. 2 [2, 12].

Ориентирующими называют движения захватного устройства, соизмеримые с его размерами. Транспортирующие движения захватного

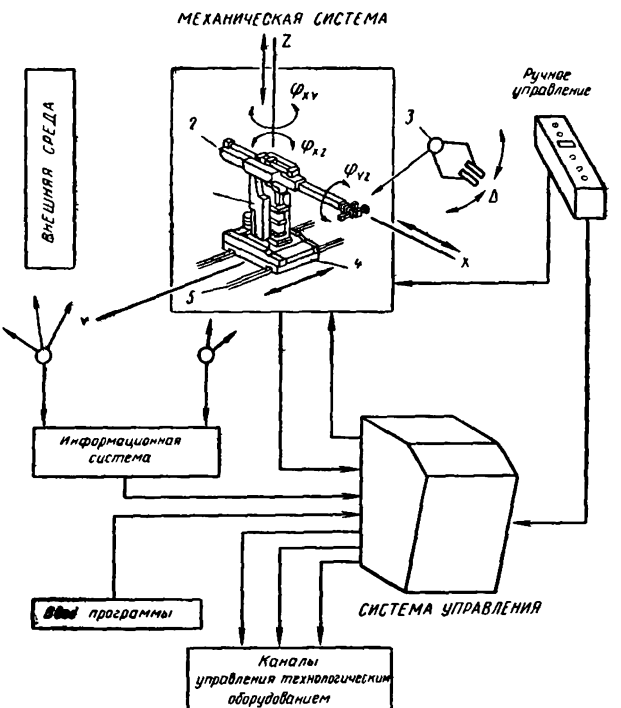


Рис. 2. Структурная схема промышленного робота, основные элементы конструкции и движения рабочих органов:

1 — корпус, *2* — рука, *3* — захватное устройство, *4* — основание, *5* — путепровод, *XX* — движение руки вдоль продольной оси, *YY* — движение корпуса манипулятора по путепроводу, *ZZ* — движение руки вверх-вниз, φ_{YZ} — вращение (ротация) захвата, φ_{XZ} — качание руки (поворот относительно оси *YY*), φ_{XY} — поворот корпуса манипулятора вокруг вертикальной оси *ZZ*;

Δ — движение захвата

устройства в различные зоны рабочего пространства определяются размерами звеньев руки и соизмеримы с размерами обслуживающего оборудования. Координатные движения — это перемещения на расстояния, превышающие размеры самого манипулятора и размеры обслуживаемого им оборудования или рабочего места. На рис. 2 ориентирующие движения Δ и φ_{YZ}, транспортирующие движения — в направлениях XX, ZZ, φ_{XZ}, φ_{XY}; движения в направлении YY относятся к координатным.

Классификация роботов по различным признакам, существенным для разработки типажа, представлена на рис. 3 [7, 8, 9, 13].

По характеру выполняемых операций все ПР подразделяют на две группы, имеющие различные производственно-технологические признаки:

1) производственные, непосредственно участвующие в технологическом процессе в качестве производящих или обрабатывающих машин, выполняющих основные технологические операции (гибка, сварка, окраска, сборка и т. п.);

2) подъемно-транспортные, выполняющие действия типа «взять—положить» и применяемые при обслуживании основного технологического оборудования при установке—снятии заготовок, деталей и инструмента, очистке баз деталей и оборудования, питании и разгрузке транспортеров, а также на транспортно-складских операциях.

В ряде моделей ПР широкого назначения (универсальных) сочетаются признаки обеих групп.

По степени специализации ПР подразделяют на четыре группы:

1) специальные, выполняющие определенную технологическую операцию или обслуживающие конкретную модель основного технологического оборудования;

2) специализированные, выполняющие технологические операции одного вида (сварка, окраска, сборка, штабелирование и т. п.) или обслуживающие определенный набор моделей основного технологического оборудования, тип и расположение которого соответствуют конкретным производственным условиям и заданию потребителя;

3) целевые, выполняющие несколько видов технологических операций или обслуживающие широкую номенклатуру моделей основного технологического оборудования, объединенных общностью манипуляционных действий;

4) универсальные, предназначенные для обслуживания оборудования различного технологического назначения (в том числе и того, которое требует разнотипных приемов при своем обслуживании), а также для выполнения различных основных технологических операций

Жесткопрограммируемые роботы предназначены для выполнения определенного круга работ, предусмотренных программой. Они не обеспечивают корректировки программы при изменении внешней среды. Оснащаются системами управления, которые подразделяются на два вида в соответствии с характером перемещений рабочих органов ПР: позиционные (от точки к точке) и контурные (по непрерывной траектории).

Гибкопрограммируемые роботы обеспечивают корректировку, изменение, смену, выбор или разработку программ в зависимости от условий внешней среды. К ним относятся роботы, управляемые ЭВМ, из которых наиболее совершенными являются интегральные («разумные»)

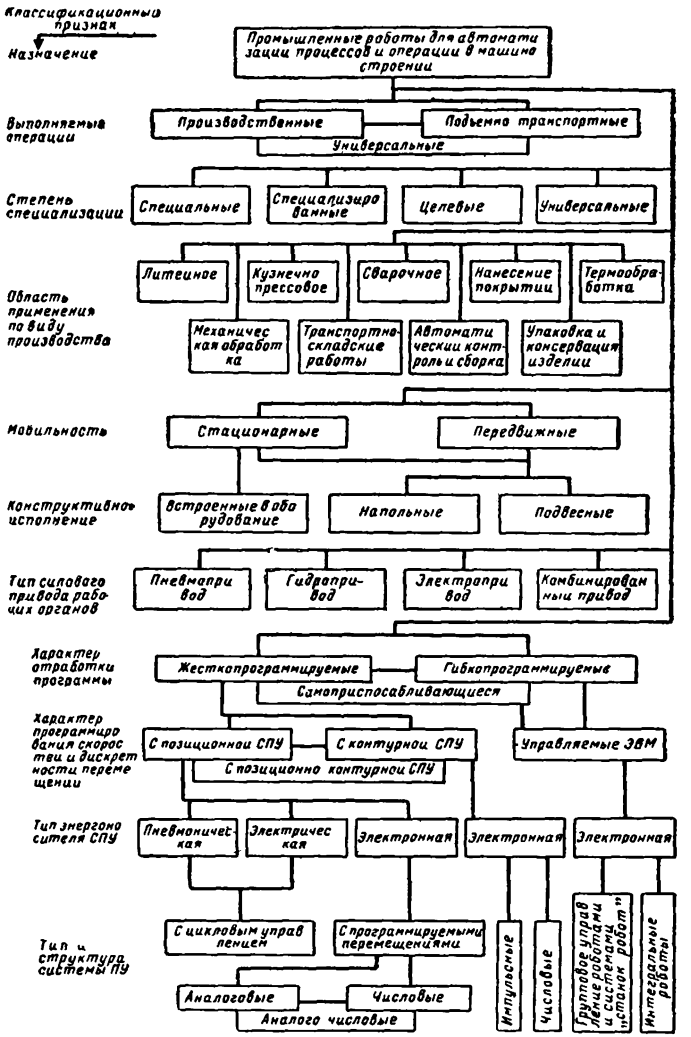
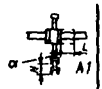
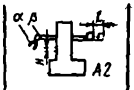
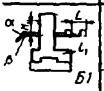
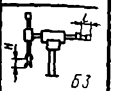
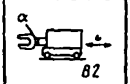
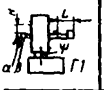
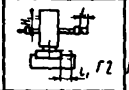
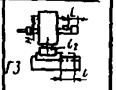
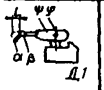
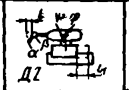
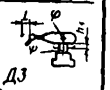
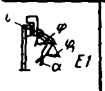
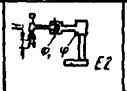
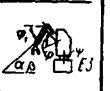
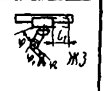


Рис. 3. Классификация промышленных роботов

роботы, снабженные развитым сенсорным аппаратом с программированием цели и способностью разрабатывать и менять программу применительно к условиям окружающей среды [1, 2, 7—9].

Самоприспособляющиеся (адаптивные) роботы снабжают сенсорными датчиками, обеспечивающими корректировку работы.

1. Основные компоновки

Система координат основных движений			Обозначение	Схемы компоновок		
Декартова	Плоская		А	 А1	 А2	 А3
	Пространственная		Б	 Б1	 Б2	 Б3
Полярная	Плоская		В	 В1	 В2	
	Цилиндрическая		Г	 Г1	 Г2	 Г3
	Сферическая		Д	 Д1	 Д2	 Д3
Сложная полярная	Цилиндрическая		Е	 Е1	 Е2	 Е3
	Сферическая		Ж	 Ж1	 Ж2	 Ж3

Показатели и элементы конструкции ПР. Число степеней подвижности — сумма возможных движений захватного устройства манипулятора без учета движения захвата (зажима) детали (инструмента).

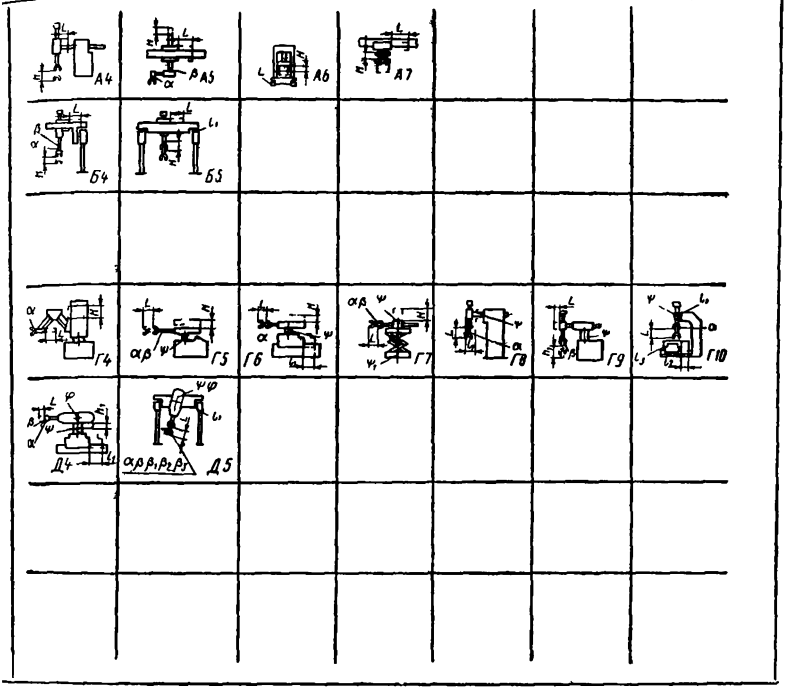
Точность позиционирования оценивается отклонением (±мм) центра захватного устройства от заданного положения при многократном повторении роботом рабочего цикла.

Внешняя компоновка ПР (табл. 1) зависит от системы координат, в которой осуществляются основные движения исполнительных органов [13].

Рабочая зона ПР — пространство, в котором при работе может находиться захватное устройство манипулятора. Рабочая зона характеризуется максимальным радиусом обслуживания (наибольшее расстояние от оси симметрии корпуса ПР до захватного устройства, при котором еще обеспечивается захват и удержание объекта с массой, соответствующей грузоподъемности ПР); перемещениями корпуса, руки и захватного устройства ПР.

современных ПР

и их индексы



Мобильность ПР определяется его способностью совершать движения. По мобильности роботы разделяются на две группы: стационарные (обеспечивающие ориентирующие и транспортирующие движения) и передвижные (обеспечивающие дополнительно к названным и координатные движения).

Грузоподъемность ПР определяется как суммарная грузоподъемность его рук (кг).

Привод исполнительных механизмов ПР должен отвечать следующим основным требованиям: обеспечивать движение рабочих органов с точностью позиционирования, соответствующей целевому назначению робота; обладать высоким быстродействием и возможностью работы в режиме автоматического управления и регулирования; иметь минимально возможные габарит и массу, обладая при этом высокими энергетическими показателями. В настоящее время этим требованиям в наибольшей мере отвечают гидравлический и пневматический приводы [3, 10].

Захватные устройства ПР служат для захвата и удержания объектов, перемещаемых рукой робота [3—6, 10]. Эти объекты могут иметь различные размеры, форму и массу, поэтому захваты относятся к числу сменных элементов ПР. Как правило, ПР комплектуют набором типовых (для данной модели) захватных устройств, которые можно менять в зависимости от требований конкретного рабочего задания.

В табл. 2 приведены примеры конструкций различных захватных устройств.

Система управления. Для управления ПР могут быть использованы системы специального назначения, а также системы программного управления (СПУ), предназначенные для управления оборудованием других видов (см. гл. 6).

Сравнительные характеристики систем программного управления ПР приведены в табл. 3.

Системы ЦПУ наиболее простые и дешевые, однако возможности их ограничены сравнительно небольшим количеством команд и более сложным процессом программирования, выполняемого вручную. Программа систем ЦПУ содержит информацию о последовательности и скоростях перемещений исполнительных органов ПР; пути их перемещений задаются настройкой упоров, воздействующих на конечные переключатели. Устройство задания программы выполняется чаще всего в виде штекерной наборной панели, кнопочной панели, кулачкового или шарикового барабана, воздействующего на контактные переключатели при повороте на определенный угол (шаг).

Аналоговые СПУ по выполняемым функциям, простоте, стоимости и области применения мало отличаются от цикловых. Информация в этих системах задается и хранится в виде потенциалов, устанавливаемых с помощью потенциометров, количество которых соответствует количеству программируемых шагов, умноженных на число управляемых координат. Программирование осуществляется вращением ручек этих потенциометров, что удобнее, чем установка упоров в цикловых системах. Аналоговые системы современных ПР обеспечивают программирование до восьми координат с возможностью их одновременной отработки.

Преимущества цикловых и аналоговых СПУ ПР следующие: высокая надежность, сравнительная простота схемы управления, невысокая стоимость и возможность сохранения информации при выключении питания.

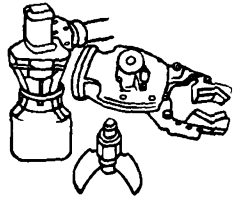
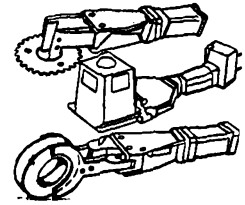
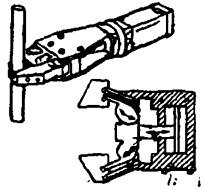
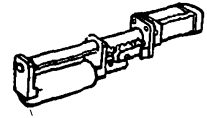
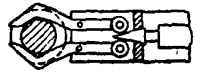
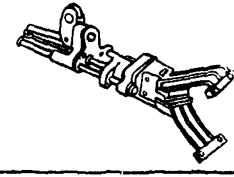
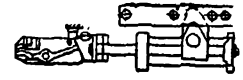
Недостатки — невозможность осуществления сложных циклов движения исполнительных органов ПР и ограниченное число выполняемых в цикле команд, отсутствие возможности хранить отработанную программу движений вне системы ПУ и сложность процесса наладки.

В качестве систем ЧПУ для ПР применяют следующие серийно выпускаемые станочные системы: «Координата С-68», «Координата С-70», «Координата С-70/3», «Контур 3МИ», «Контур 4МИ», Н221М, Н331М, Н332М, Н551.

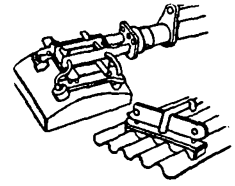
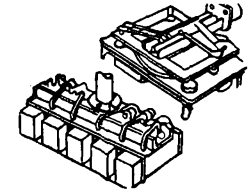
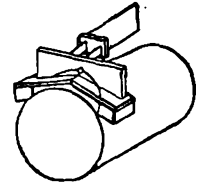
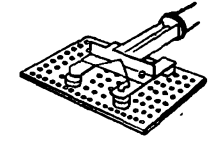
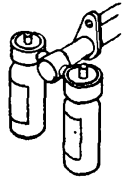
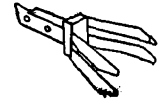
Технические данные этих систем приведены в работе [15].

Для управления ПР можно использовать станочные системы ЧПУ, построенные по принципу ЭВМ. Такие системы позволяют в режиме разделения времени управлять несколькими единицами оборудования, в числе которых может быть и робот. В них несложно организовать режим обучения, а также предусмотреть вывод отлаженных программ

2. Захватные устройства промышленных роботов

Захватывающие элементы	Центрирующие захватные устройства, определяющие		Нецентрирующие захватные устройства
	ось симметрии	плоскость симметрии	
Клещевые (пальцевые): рычажные			—
реечные			—
клиновые			

Продолжение табл. 2

Захватывающие элементы	Центрирующие захватные устройства, определяющие		Нецентрирующие захватные устройства
	ось симметрии	плоскость симметрии	
Вакуумные	—		
Магнитные	—		
С эластичными камерами			—

3. Сравнительные характеристики систем программного управления ПР

Параметр	Цикловое программное управление	Числовое программное управление	ЭВМ
Количество команд	16—104	До 20 000	Не ограничено
Возможность хранения программы вне СПУ	Нет	Да	Да
Программирование	Вручную	Полуавтоматическое	С автоматическим вводом программ
Возможность запоминания движений исполнительных органов при программировании (программирование методом обучения)	Нет	Да—нет	Да
Библиотека программ	Нет	Да—нет	Да
Возможность распознавания объекта	Нет	Да—нет	Да

4. Характеристики датчиков внутренней информации [10]

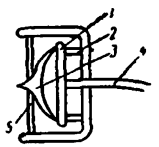
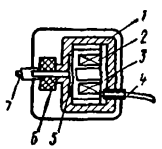
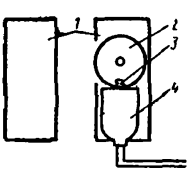
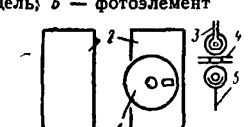
Датчики	Разрешающая способность	Температура окружающей среды, ° С	Помехоустойчивость
Потенциометры:			
проволочные	0,1—0,5%	—	
пленочные	0,01—0,1%	—	
Сельсины	—	—	Хорошая
Резольверы	—	—	
Индуктивные датчики	0,1—2 В/мм	—	
Генераторы импульсов:			
фотоэлектрические	3000 имп/об	—10÷+50° С	Слабая
электромагнитные	1000 имп/об		Средняя
Кодовые датчики:			
щеточные	2^7 1/об		Хорошая
фотоэлектрические	2^{18} 1/об	—2 ÷+60° С	Слабая
электромагнитные	2^7 1/об		Средняя

5. Сравнительные характеристики бесконтактных датчиков различных типов [9]

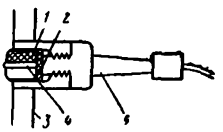
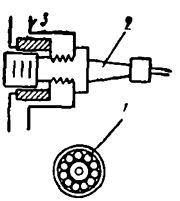
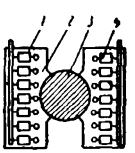
Характеристика	Датчики	
	электромагнитные	оптические
Назначение — обнаружение и измерение объектов	Металлических	Непрозрачных
Чувствительность (удаленность объекта), см	0—7	0—1000 и более
Преимущества	Статическая точность, надежность, прочность	На точность не влияет величина и скорость перемещения объекта
Недостатки	Точность зависит от величины, свойств и скорости движения объекта	Работоспособность зависит от освещенности, запыленности и других факторов среды

Характеристика	Датчики	
	ультразвуковые	пневмоструйные
Назначение — обнаружение и измерение объектов	Из любых материалов	
Чувствительность (удаленность объекта), см	0—1000	До 2
Преимущества	Долговечность, независимость работы от освещенности, запыленности и помех Возможны измерения в различных средах	Высокая точность по сравнению с другими бесконтактными датчиками
Недостатки	Ограничена способность обнаружения микроскопически малых тел Низкая точность по сравнению с датчиками другого типа	Малая дальность действия, завышают показатели при движении объекта

6. Примеры тактильных датчиков внешней информации

Схема	Назначение и характеристика
Пьезодатчик проскальзывания; *1* — кристалл сегнетовой соли, *2* — резиновый демпфер, *3* — сапфировая игла; *4* — выход, *5* — металлический корпус 	Реагирует на смещение микронеровностей поверхности детали при ее проскальзывании между «пальцами» захватного устройства Сигнал проскальзывания управляет приводом движения пальцев. Резиновый демпфер уменьшает помехи
Электромагнитный датчик, *1* — масляный демпфер, *2* — катушка, *3* — магнит; *4* — выход, *5* — вибратор, *6* — резиновый демпфер, *7* — стальной шарик 	Реагирует на смещение детали отклонением держателя со стальным шариком. Масляный демпфер исключает помехи и позволяет воспринять значительные нагрузки
Датчик с магнитным преобразователем *1* — «пальцы», *2* — резиновый ролик, *3* — магнит, *4* — магнитная головка 	Смещение детали вызывает вращение ролика с упругим покрытием. Угловое смещение ролика регистрируется магнитным преобразователем
Датчик с фотоэлектрическим преобразователем *1* — резиновый ролик; *2* — «пальцы»; *3* — лампа, *4* — щель; *5* — фотоэлемент 	Регистрирует смещение детали в пальцах захвата по величине проворота ролика. Управление приводом движения «пальцев» от сигнала фотоэлектрического преобразователя

Продолжение табл. 6

Схема	Назначение и характеристика
Тактильный датчик с иглой; *1* — силиконовая резина; *2* — твердая резина; *3* — «палец»; *4* — игла; *5* — датчик давления 	В корпусе из силиконовой резины установлена игла. Возможно увеличение усилия сжатия «пальцев» при проскальзывании детали и регулирование усилия сжатия (настройка)
Тактильный датчик с роликом; *1* — ролик; *2* — датчик давления; *3* — «палец» 	Сила прижатия ролика к поверхности детали увеличена благодаря пружинам
Тактильная матрица: *1* — «пальцы»; *2* — упругое тело; *3* — предмет; *4* — датчики давления 	Расположена в упругом материале, нанесенном на внутреннюю поверхность «пальцев» захватного устройства. Позволяет определять положение, форму и размеры детали, изменять усилие сжатия при ее проскальзывании

на перфоленту или другой носитель информации. При этом системы кодирования управляющей информации и ЧПУ станка должны быть аналогичны.

Базовыми для отечественных ПР являются позиционные системы ЧПУ мод. УПМ-331, УПМ-552 и УПМ-772. Число одновременно управляемых координат равно соответственно 3, 5 и 7. Указанные системы построены по микропрограммному принципу управления с последовательной отработкой координатных перемещений исполнительных механизмов ПР на основе центрального вычислителя. Они унифицированы в схемо-алгоритмической части и конструктивно-технологическом исполнении. Системы оснащены пультом обучения. Основной программоноситель — кассетный накопитель на магнитной ленте, обеспечивающий объем информации 2000 кадров. Объем буферной памяти — 32 кадра. Число технологических команд обмена информации — 64.

Информационная система. Датчики внутренней информации обеспечивают контроль функционирования ПР. В качестве таких датчиков используют предельные выключатели, бесконтактные выключатели, фотореле, реле давления и т. п. Если в конструкции ПР используются сервомеханизмы с обратной связью, то для определения положений исполнительных органов применяются потенциометры, сельсины, резольверы, индуктивные датчики различных типов, генераторы импульсов, кодовые датчики и другие устройства [3, 10]. Их отличительные особенности указаны в табл. 4.

Датчики внешней информации [3, 10, 11] предназначены для контроля за состоянием объекта труда и обслуживаемого оборудования.

Контактные датчики применяют для обнаружения объекта, установления наличия соприкосновения с ним, определения размеров объекта, контроля величины давления на объект, установления подготовленности основного технологического оборудования к обслуживанию роботом, а также для обеспечения безопасности работ.

Назначение бесконтактных датчиков то же, что и контактных. Их преимущество — отсутствие непосредственного соприкосновения с объектом, вследствие чего они не испытывают силовых воздействий. При их применении нет опасности плохого контакта или повреждений. По сравнению с контактными датчиками они имеют меньшую точность и надежность. Сравнительные характеристики бесконтактных датчиков приведены в табл. 5.

В табл. 6 приведены схемы некоторых типов датчиков внешней информации, служащих для обнаружения и установления размеров объекта.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РОБОТОВ

Технические данные характерных моделей ПР, разработанных в СССР, приведены в табл. 7. В качестве классификационного признака принята компоновка ПР. Обозначения компоновочных схем и перемещения рабочих органов соответствуют указанным в табл. 1.

Характерные представители ПР. Промышленные роботы, работающие в декартовой плоской системе координат. *Робот «Спрут-1»* (рис. 4) предназначен для внутрицехового транспортирования контейнеров с грузом [17].

7. Технические характеристики отече

Модель	Индекс компоновки	Число степеней подвижности	Грузоподъемность, кг	Тип привода	Линейное или / Скорости	
					L	*H*
СМ160Ф24801	А1	5	160(2	Р	8920 / 0,8	750 / 07
1П732Ф4АМ *1		2	250		3500 / 0,8	675 / 0,7
СМ80.Ц.2501		3	80		3200 / 0,8	1000 / 0,5
И4.094.0061	А5	4	25	П	4000 / 0,5	1000 / 0,5
И4.094.0063				З	5000 / 0,45	1000 / 0,17
ГМ.500.Ц.0401 *3, *4	А6	2	500		*L* / 0,5	1700 / 0 13
«Спрут-1»	А7		250		*L* / —	3200 / —
ГМ 500.Ц.0301 *3			500		*L* / 0,6	1700 / 0 13
МКП-2,5 *5	В2	4	2500		*L* / регулируемый	
					L	*H*
УМ-1	Г1	5	10(40)	Р	760 / 1	760 / 1
УМ-1Т*6		4	10		700 / 0,7	580 / 0,7
УМ-1П *7		5			580 / 0,7	
ПР-35 *8			12 (35)		1067 / 0,76	2300 / 1,27
					L	*H*
УПК-1	Г2	6	10 / 40		770 / 0,5	770 / 0 5
296 *1		5	15		1000 / —	750 / —

ственных промышленных роботов [13]

угловое перемещение / перемещений			Точность позиционирования	Тип системы управления	Габарит, мм	Масса, кг
α	β					
180 / 90	—	—	±0,5	II	12000×4170×1600	650
	—	—	—		10000×1000×3350	3000 *2
180 / 90	—	—	±1	Ц	5165×1700×3250	2726
240 / 90	180 / 90	—	±5		6000×420×1814	100
240 / 45	180 / 45	—				456 *2
—	—	—	±50		1824×2015×2765	720
—	—	—	±10		1645×2133×956	650
—	—	—	±50		1100×1000×2910	300
360 / —	—	—	—	ЭВМ	—	—
ψ	α	β				
240 / 90	180 / 90	180 / 90	±2	П	1630×750×2070	900
240 / 60						—
						—
220 / 110	180 / 110	220 / 110	±1,25			—
ψ	α	l_1				
240 / 30	180 / 180	500 / 0,5	±2	К	2055×768×2300	—
180 / —	90 / 180	150 / —	±1,25	П		—

Модель	Индекс компоновки	Число степеней подвижности	Грузоподъемность, кг	Тип привода	Линейное или Скорости	
					L	*H*
«Циклон-3Б» *1	Г5	4	6	П	600 / 0,6	150 / 0,3
ПР-10И			10		600 / 0,8	200 / 0,5
ПР-10С *9						
ПРЦ-1 *1					800 / 1,3	150 / 0,5
РПД-1,25 *1			1,25		500 / 1,3	125 / 0,5
281			10		500 / 1	300 / 1
«Гоша»					1300 / —	300 / —
М901		3	20	Э	375 / —	250 / —
ММ063 *14		4	0,63		50 / 0,1	40 / 0,1
РП-10 *4		3	10	П	700 / 0,6	150 / 0,6
«Циклон-3а»	Г6	5	3		600 / 0,6	100 / 0,3
А9720			20	Г	1100 / —	320 / —
	Г7					*H*
«Универсал-5»		6	5	П	700 / 0,87	800 / 0,3
	Г8				*L*	
СМ40Ц43.01 *10		4	40	Г	500 / 0,5	

Продолжение табл. 7

угловое перемещение / перемещений			Точность позиционирования	Тип системы управления	Габарит, мм	Масса, кг
ψ	α	l_1				
180 / 60	180 / 90	—	+0,1	Ц	1100×700×1250	460
220 / 90	180 / 180	—	+0,1	Ц	1670×850×1115	500
		—	±1	Ц	1670×850×1115	500
180 / 90	180 / 150		+0,5	Ц	2115×1000×1100	1000
			±0,1	Ц	—	—
240 / 90	180 / —	—	±0,2	Ц	—	—
180 / —			—	Ц	2000×1500×800	—
270 / —	—	—	±4	Ц	—	200
90 / 90	180 / 180	—	±0,05	Ц	500×400×500	30
180 / 180	—	—	±0,5	Ц	—	500
180 / 60	90 / —	50 / —	—	Ц	1400×900×120	—
180 / —	180 / —	290 / —		Ц	—	500
ψ	ψ_1	α				
240 / 87	330 / 60	180 / 180	±2	А	870×1100×2100	650
ψ		α				
90 / 60	40 / 0,3	180 / 120	±0,1	Ц	860×630×2500	1000

Модель	Индекс компоновки	Число степеней подвижности	Грузоподъемность, кг	Тип привода	Линейное или / Скорости	
					L	
381	Г9	4	5	Г	500 / —	750 / —
					L	ψ
РВ-50Ф2 *11	Г10	6	50	Г	300 / 0,6	50 / 60
					L	ψ
«Универсал-50М»	Д1	5	50	Г	900 / 0,9	340 / 36
					L	ψ
«Универсал-15» *12	Д4	7	15 (60)	Г	1000 / 1,75	340 / 150
					L_1	φ
ЦРВ-50	Е1	4	50	Г	12 000 / 0,8	90 / 60
УМ160Ф28101			160		18000 / 0,8	
					ψ	φ
ПРК-20 *14	Ж3	6	20	Г	180	

Продолжение табл. 7

угловое перемещение / перемещений			Точность позиционирования	Тип системы управления	Габарит, мм	Масса, кг
ψ	—	β				
$\frac{180}{—}$	—	$\frac{90}{—}$	+1,25	Ц	—	
l_1	l_2	l_3				
$\frac{40}{0,3}$	$\frac{500}{0,8}$	$\frac{500}{0,8}$	±0,1	П	1300×800×2245	1200
φ	α	β				
$\frac{50}{20}$	$\frac{360}{180}$	$\frac{200}{90}$	±3	А	1300×1300×1600	1500
φ	l_1	h_1				
$\frac{50}{25}$	$\frac{200}{0,3}$	$\frac{260}{0,3}$	±2	А	1200×1400×1700	1400
φ_1	α					
$\frac{90}{60}$	$\frac{180}{120}$	—	±1	П	1400×1600×3100 *13 18000×3640×1500	400 *13 600 *13
φ_1	β					
φ_1	120	β_1	±3	К	—	—

Модель	Индекс компоновки	Число степеней подвижности	Грузоподъемность, кг	Тип привода	Линейное или / Скорости	
					φ	φ
«Спорт-1»	Е3	6	15	Э	±150 / —	55 / —
МП-1		6	15	Э	±150 / —	55 / —

*1 Имеет две руки.
*2 С монорельсом.
*3 Для гальванопокрытий.
*4 Имеет два захвата.
*5 Для свободной ковки, работает совместно с прессом
*6 Теплозащитное исполнение.
*7 Пылезащитное исполнение
*8 Программируются перемещения кисти. Многопрограммный

Примечание. Обозначения указывают: 1) тип привода: П — пневкловая (с работой по механическим упорам), А — позиционная аналоговая турная числовая, ЭВМ — управление с использованием ЭВМ, 3) основные ее продольной оси, мм, *H*—перемещение руки по вертикальной оси, мм, φ— дольной оси руки, °, β — угол поворота захватного устройства в плоскости,

Две телескопические направляющие манипулятора с автоматическим захватом закреплены на тельферной тележке, перемещающейся по монорельсу, проложенному в соответствии с трассой цеха. Привод электромеханический. Манипулятор управляется системой ЦПУ, обеспечивающей по программе с преднабором автоматическое выполнение манипуляторами заданных операций, выбор кратчайшего пути перемещений по трассе и взаимную блокировку при одновременной работе нескольких манипуляторов.

Роботы ГМ.500.Ц.0301 *и* ГМ.500.Ц.0401 для обслуживания ванн в цехах металлопокрытий обслуживают ванны подготовительно-финишных (обезжиривания, травления, промывочные и т. п.) и основных (цинкования, никелирования, хромирования и т. п.) операций. Температура перемещаемых объектов от —5 до +150° С. Условия работы: закрытые помещения, температура +20° С, влажность 90% над ваннами, содержащими химикаты в виде водных растворов.

Промышленные роботы, работающие в полярной плоской системе координат. На рис. 5 приведена кинематическая схема манипулятора [16], предназначенного

Продолжение табл. 7

угловое перемещение / перемещений			Точность позиционирования	Тип системы управления	Габарит, мм	Масса, кг
φ_1	φ_2	l_1				
$\frac{\pm 110}{-}$	$\frac{\pm 90}{-}$	$\frac{l_1}{-}$	—	—	—	—
$\frac{\pm 110}{-}$	$\frac{+90}{-}$	$\frac{l_1}{-}$	—	—	—	—

*[9] Взрывобезопасное исполнение
*[10] Имеет 9 модификаций, в том числе двурукие.
*[11] $\alpha = 180°$
*[12] $\alpha = 340°$; $\beta = 190°$
*[13] Без монорельса.
*[14] Перемещение вдоль изделия 1500 мм, рабочая зона 1500×1500 мм. Предназначен для окраски напылением
*[15] Для сборки.

матический, Г — гидравлический, Э — электрический; 2) тип СПУ: Ц — ци- (с работой по датчикам положения), П — позиционная числовая, К — кон- перемещения рабочих органов (см. табл. 1): L — перемещение руки ПР вдоль угол наклона руки, °, α — угол поворота захватного устройства вокруг про- проходящей через продольную ось руки, °; 4) скорости — в м/с или °/с.

для работы в составе ковочных комплексов нагревательное устройство — ковочный пресс (усилием до 500 тс) — манипулятор. Манипулятор МКП-2,5 напольный, рельсового типа. Тележка перемещается по двухрельсовому пути на четырех неприводных колесах. Путь полного затормаживания тележки не превышает 5 см. Тормозной путь останова руки при движущейся тележке 1—1,5 см. При ковке под воздействием бойка пресса поковка и рука могут упруго опускаться. Демпфирование усилий обеспечивается гидропневматическим аккумулятором.

Система ЧПУ четырехкоординатная, обеспечивает три программируемых движения манипулятора (подъем руки, смещение его относительно тележки параллельно рельсовому пути, ротация клещей) и управляет движением бойка пресса. Зажим клещей и боковой сдвиг руки имеют ручное управление. Объем информации на ленте СЧПУ составляет 20—100 кадров; длительность обработки кадра 6—60 с; средняя продолжительность автоматической ковки 10—20 мин. При необходимости оператор может управлять вручную работой всего комплекса.

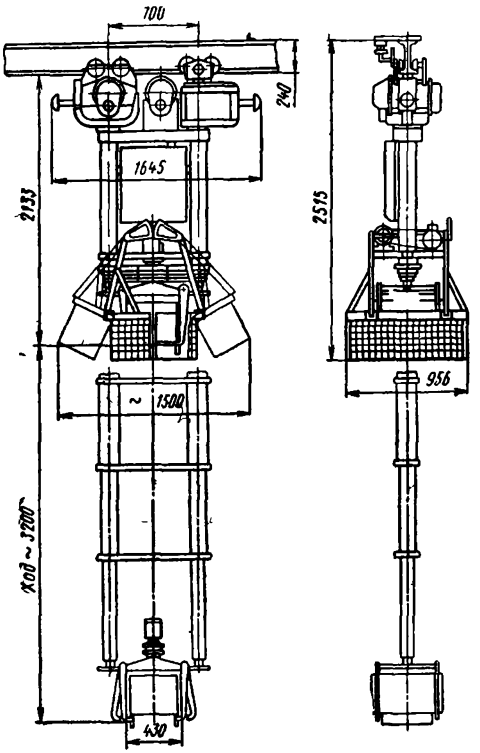
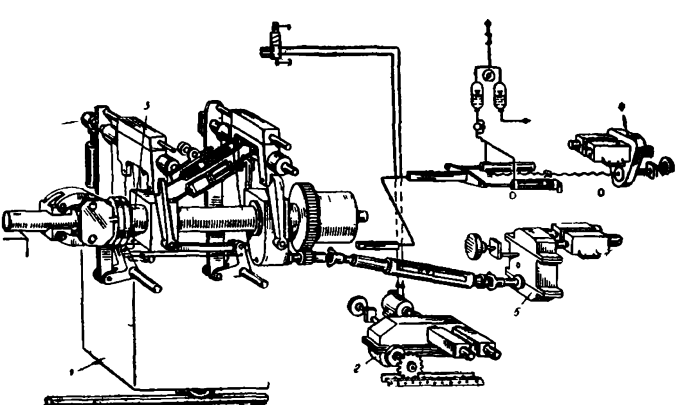


Рис. 4. Манипулятор «Спрут-1»

Рис. 5. Кинематическая схема манипулятора МКП-2,5:

1 — тележка манипулятора; *2* — редуктор осевого перемещения тележки с электродвигателями и гидравлическим насосом; *3* — хобот с клещами и гидравлическим механизмом зажима; *4* — редуктор подъема хобота с электродвигателями; *5* — редуктор вращения хобота с электродвигателями



Промышленные роботы, работающие в полярной цилиндрической системе координат. Группа агрегатных роботов СМ40Ц4300 включает 9 модификаций, которые в совокупности обеспечивают возможность единичного обслуживания металлорежущих станков токарной группы в номенклатуре из

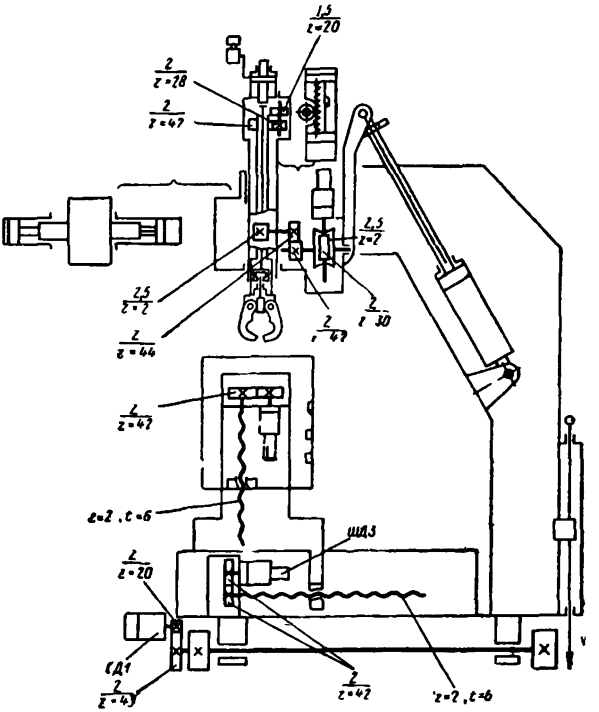
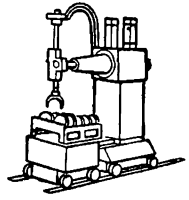
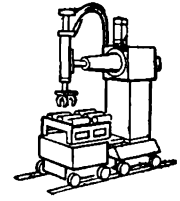
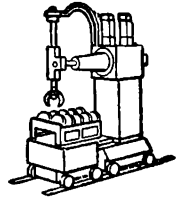
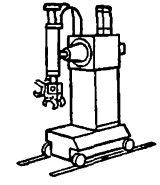
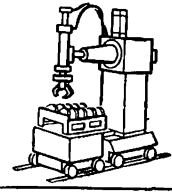
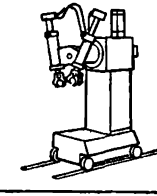


Рис. 6. Кинематическая схема робота РВ-50Ф2

20 моделей. Исполнительными механизмами всех перемещений за исключением движения по рельсам, которое осуществляется от гидромотора, являются гидроцилиндры. Роботы могут работать от гидростанции обслуживаемого оборудования или от индивидуальной гидростанции. Система управления цикловая, позиционная. Схема агрегатного построения и технические данные узлов манипуляторов, составляющих группу, приведены в табл. 8 и 9.

Промышленный робот РВ-50Ф2 предназначен для единичного обслуживания металлорежущих станков-полуавтоматов с горизонтальной осью шпинделя в составе автоматизированных комплексов станок—робот и взаимодействия с автоматизированным складом. Робот (рис. 6) оснащен двухкоординатным позиционным столом и имеет шесть степеней свободы: ход руки вдоль продольной оси и вдоль оси центров станка,

8. Манипуляторы цикловые агрегатированные с горизонтальной осью

Модель манипулятора		Комплекты (см табл 9)	Модель манипулятора		Комплекты (см табл 9)
СМ40Ц4301		*1, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16*	СМ40Ц4306		*3, 7, 9, 11, 12 14, 16*
СМ40Ц4302		*2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15*			
СМ40Ц4303		*1, 7, 8, 9, 10, 11 12, 14, 16*	СМ40Ц4307		*3, 4, 6, 7, 9, 11, 15*
СМ40Ц4304		*2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16*			
СМ40Ц4305		*3, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16*	СМ40Ц4321		*3, 4, 6, 7, 9 11, 15*
			СМ40Ц4322		

9. Технические данные узлов, комплектующих для агрегатных роботов СМ40Ц4300

Агрегат	Функция	Внешний вид	Масса, кг	Скорость, м/с или °/с	Точность позиционирования, мм	Ход мм или °
Рука	Перенос детали, зажим и кантование	1 	80	500	0,05	300
		2 	110			500
		3 	90			300
	Перенос, зажим детали	4. 	80			

Продолжение табл 9

Агрегат	Функция	Внешний вид	Масса, кг	Скорость, м/с или °/с	Точность позиционирования, мм	Ход, мм или
Держатель	Размещение рук	5 	18	—	—	—
		6 	20	—	—	—
Головка	Размещение рук, перемещение руки (рук)	7 	120	500	0,05	40 (продольный ход)
Привод хода	Выдвижение руки	8 	22	300	0,02	225
поворота	Поворот руки	9 	22	300	0,02	225

Программный барабан хода поворота	Программирование хода руки	10 11 	12	90°/с	0,02	30°
Стол	Размещение специальной тары	12 	90	—	—	—
Программный барабан стола	Программирование хода стола	13 	35	—	—	—
Захват; для валов	Захват детали	14. 	10	—	—	—
для фланцев		15. 	8	—	—	—
двойной		16. 	22	—	—	—

поворот руки от стола робота к станку, ход стола в продольном и поперечном направлениях, ротация захвата и движение зажима, перемещение робота по рельсовому пути. Привод робота — от гидростанции обслуживаемого оборудования или автономной гидростанции. Перемещения

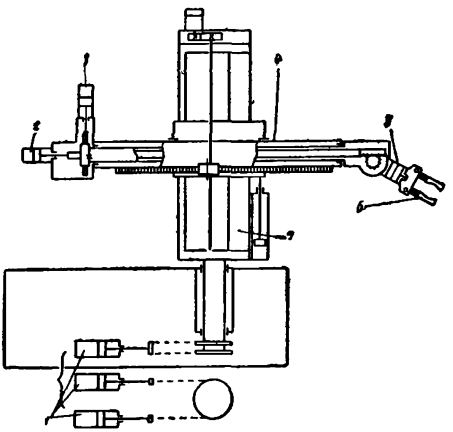


Рис. 7. Кинематическая схема робота УМ-1:

1 — гидроцилиндры поворота колонны; *2, 3* — гидроцилиндры поворота кисти; *4* — рука; *5* — кисть; *6* — захват; *7* — колонна

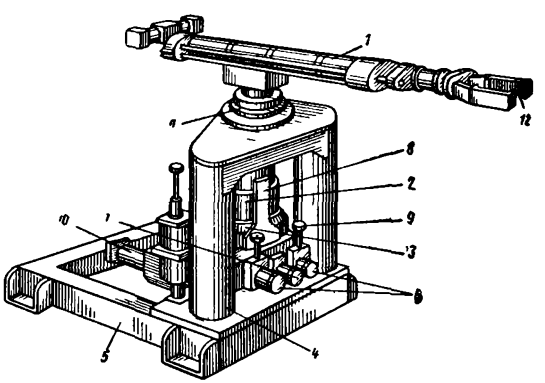


Рис. 8. Компоновка манипулятора с пневмоприводом:

1 — рука; *2* — механизм подъема; *3* — механизм поворота руки; *4* — рама; *5* — основание; *6* — гидродемпфер; *7* — устройство останова; *8* — водило; *9* — рукоятка; *10* — пневмоцилиндр; *11* — колонна; *12* — захватное устройство

по трем координатам (ход руки вверх-вниз и движения стола) осуществляются электрогидравлическими шаговыми приводами и управляются системой ЧПУ, в качестве которой могут быть использованы системы Н-33-1М или УПМ-331. Цикловые движения обеспечиваются гидроцилиндрами.

Промышленный робот УМ-1 имеет пять степеней свободы, не считая движения зажима (рис. 7). На основе базовой модели созданы две специализированные модификации: УМ-1Т в теплозащитном исполнении для работы в горячих цехах и УМ-1П в пылезащитном исполнении (см. табл. 1, 8).

Промышленные роботы ПРЦ-1, «Циклон-3А», «Циклон-3Б», ПР-10И, ПР-10С, ПР-5, 281 в одно- или двуруком исполнении имеют типовую компоновку, показанную на рис. 8. Их технические данные и рекомендации по применению приведены в табл. 1, 8.

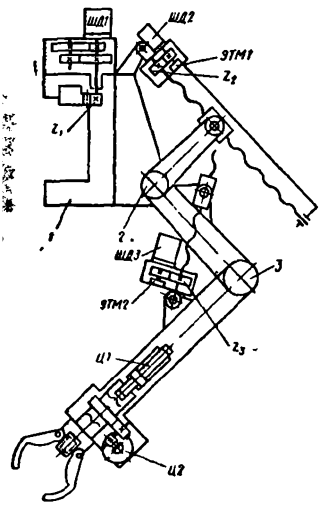
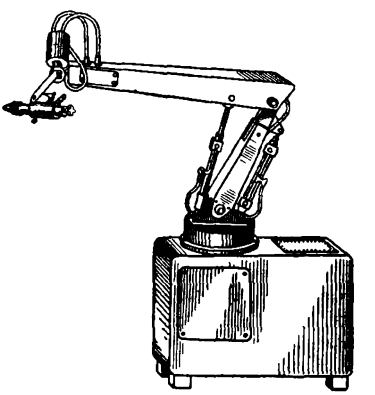


Рис. 9. Кинематическая схема робота ЦРВ-50 [8]

Рис. 10. Манипулятор ПРК-20 [1]



Промышленные роботы, работающие в сферической системе координат «Универсал-15», «Универсал-50М» и ПР-35. Их технические данные и рекомендации по применению приведены в табл. 8. В основании робота размещается гидростанция. На основании установлена башня, осуществляющая поворот в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Захватное устройство может поворачиваться в вертикальной плоскости и вращаться вокруг продольной оси руки.

Промышленные роботы, работающие в сложной полярной системе координат. Промышленный робот ЦРВ-50 предназначен для обслуживания группы до восьми металлорежущих станков в номенклатуре 22 моделей. Конструктивно-кинематическая схема манипулятора (рис. 9) обеспечивает обслуживание оборудования при линейном или линейно-параллельном его расположении. Перемещения по трем координатам, движение каретки *1* по монорельсу, повороты руки в шарнирах *2* и *3* программируются и осуществляются шаговыми электродвигателями с гидроусилителями (ШД1, ШД2 и ШД3) через механические передачи. Ротация захвата и движение зажима осуществляются гидроцилиндрами Ц1 и Ц2 по командам цикловой автоматики. В качестве систем ЧПУ могут быть применены

системы типа Н-33-1М (для работы в режиме жесткой автоматической линии) или УПМ-331, которая предусматривает работу с четырьмя единицами технологического оборудования в режиме индивидуального обслуживания или с большим числом, если обслуживание ведется в режиме жесткой автоматической линии.

Промышленный робот ПРК-20 (рис. 10) предназначен для нанесения лакокрасочных и прочих покрытий на детали разных форм и представляет собой основание, на котором установлен поворотный относительно вертикальной оси стол, где крепится шарнирная рука с распылительным устройством. Перемещения руки обеспечиваются гидроцилиндрами, связанными жесткой обратной связью с электрогидравлическими преобразователями. Робот может перемещаться по напольным направляющим. Система управления — контурная ЧПУ. При необходимости робот может быть состыкован с ЭВМ.

ПРИМЕНЕНИЕ

Основные схемы. Типовые схемы применения ПР в комплексе с основным технологическим оборудованием приведены в табл. 10.

Индивидуальное обслуживание. Промышленный робот может быть автономным или встроенным в оборудование, составляя с ним автоматизированный технологический комплекс «основное технологическое оборудование (станок, пресс и т. д.) — промышленный робот». Такой комплекс часто называют технологическим модулем. Минимальные задачи, решение которых обеспечивает модуль, состоят в автоматизации операций установки—снятия и обработки детали, а также в обеспечении связи с транспортными потоками основного производства. Схема индивидуального обслуживания может быть применена в условиях как массового, так и мелкосерийного производства.

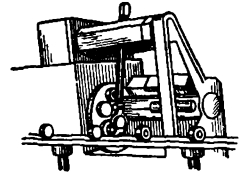
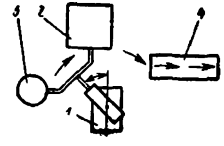
Обслуживание группы станков. Один робот может обслуживать группу станков с линейным, линейно-параллельным или круговым расположением последних, осуществляя при этом дополнительно операции межстаночного транспортирования деталей. Основное технологическое оборудование и робот образуют как бы отдельную производственную ячейку, где с помощью ПР обеспечивается заданная последовательность обработки.

Разновидностью указанной схемы является обслуживание несколькими роботами группы станков, число которых превышает количество роботов. При этом можно не только обеспечить обработку деталей с разной последовательностью операций, но и сократить простои основного технологического оборудования, связанные с многостаночным обслуживанием, выполняемым ПР.

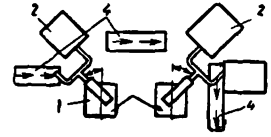
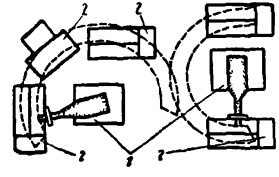
Автоматизированные технологические комплексы «единица основного технологического оборудования — робот» и автоматизированные технологические ячейки «робот — группа основного оборудования» можно рассматривать как основные структурные единицы для комплектации сложных производственных систем. Создание таких комплексов или ячеек с использованием уже разработанных моделей ПР позволяет более точно учесть специфику конкретного производства и облегчает внедрение роботов

При этом автоматизированная технологическая ячейка представляет собой объединенный общей системой управления комплекс, со-

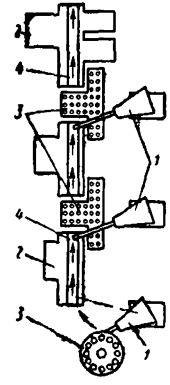
10. Основные схемы применения промышленных роботов

Обслуживание	Схема применения	Эскиз	Характеристика, назначение и особенности применения
Индивидуальное	Встраивание робота в оборудование		Однопрограммный робот, СПУ — общая для оборудования и робота Обслуживание тяжелых специальных станков, прессов и других видов оборудования в условиях массового и крупносерийного производства Необходима подача заготовки на фиксированную загрузочную позицию
	Расположение робота у основного технологического оборудования		Одно- или многопрограммный робот имеет общую или раздельную (автономную) с оборудованием СПУ. Применение в условиях массового и серийного производства, в отдельных случаях — в условиях мелкосерийного производства Необходима подача заготовки на фиксированную позицию (транспортером или тактовым магазином)

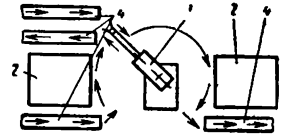
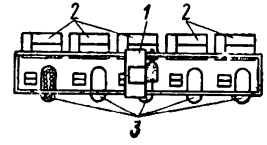
Продолжение табл. 10

Обслуживание	Схема применения		Эскиз	Характеристика, назначение и особенности применения
Групповое	Обслуживание несколькими роботами группы машин, число которых превышает количество ПР	Обработка деталей с постоянной последовательностью операций		Однопрограммные роботы в составе автоматических линий с жесткой связью Необходима подача заготовки на фиксированную загрузочную позицию Возможна раскладка обработанных деталей в тару Передача деталей от одной технологической позиции к другой осуществляется непрерывным транспортом и роботами
		Возможность изменения последовательности обработки и пропуска операций		Многопрограммные роботы для установки-снятия деталей и межпозиционного их транспортирования при обслуживании оборудования различного технологического назначения Возможны изменения последовательности обработки и пропуск отдельных операций, а также выборка — раскладка деталей в ориентирующей таре Подача заготовок в ориентирующей таре или вспомогательным транспортом на фиксированную загрузочную позицию

Продолжение табл 10

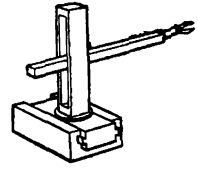
Обслуживание	Схема применения	Эскиз	Характеристика, назначение и особенности применения
Групповое	Объединение автоматизированных технологических комплексов оборудование — робот в автоматизированную технологическую ячейку с общей системой управления		Многопрограммные промышленные роботы в составе автоматизированных участков и переналаживаемых автоматических линий с гибкой связью Применение в массовом, крупносерийном и серийном производстве (с партией запуска деталей свыше 20 шт) Подача заготовок в ориентирующей таре (магазинах) в сочетании с межпозиционным транспортом обеспечивает создание межоперационных заделов, изменение последовательности обработки и пропуск отдельных операций С помощью многопрограммных роботов возможна выборка — раскладка деталей в ориентирующей таре

Продолжение табл. 10

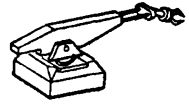
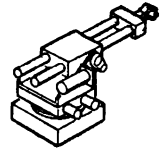
Обслуживание	Схема применения		Эскиз	Характеристика, назначение и особенности применения
Групповое	Обслуживание одним ПР группы машин	Круговое расположение оборудования (до 5 единиц, не более)		Обслуживание независимо работающего оборудования (до 3 единиц) или с жесткой связью (до 5 единиц), многопрограммным или однопрограммным роботом, соответственно
		Линейное расположение оборудования (количество регламентируется коэффициентом использования оборудования и робота)		Многопрограммный робот в составе автоматизированного участка или автоматической переналаживаемой линии Необходима библиотека программ и автоматическая смена захватов

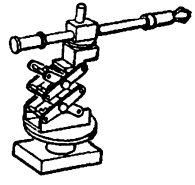
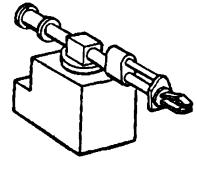
Примечание В эскизах обозначения *1* — промышленный робот, *2* — основное технологическое оборудование, *3* — магазин с заготовками, *4* — транспортер

11. Рекомендации по применению базовых моделей промышленных роботов отечественных конструкций

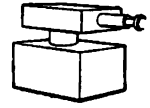
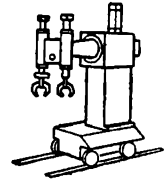
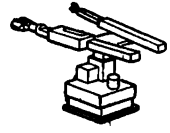
Базовая модель робота и ее модификации	Эскиз	Возможная область применения и характеристика
УМ-1		Обеспечивает автоматизацию операций установки-снятия деталей при обслуживании листоштамповочных и вырубных прессов, металлорежущих станков, транспортеров и конвейеров Применяют при выборке-раскладке деталей, покраске, нанесении покрытий Наиболее эффективен в условиях массового и крупносерийного производства при работе с деталями массой до 10 кг При закрепленной кисти грузоподъемность ПР 20—40 кг (при работе на максимальных и минимальных скоростях)
УМ-1Т		Модификация УМ-1 в теплозащитном исполнении Предназначен для установки-снятия деталей при обслуживании машин литья под давлением, термопластоавтоматов, печей, нагревательных устройств и горячештамповочных прессов
УМ-1П		Модификация УМ-1 в пылезащитном исполнении Предназначен для работы в условиях повышенной запыленности и в том числе для обслуживания дробеструйных и пескоструйных камер, в формовочных цехах и т п
УПК-1		Мобильный ПР, способный перемещаться по рельсам вдоль технологических позиций

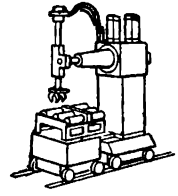
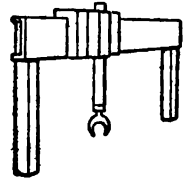
Продолжение табл 11

Базовая модель робота и ее модификации	Эскиз	Возможная область применения и характеристика
«Универсал-50М»		Обеспечивает автоматизацию операций установки-снятия деталей при обслуживании машин литья под давлением, термопластоавтоматов, дробеструйных и пескоструйных камер, печей, нагревательных устройств, закалочных ванн и ванн гальванопокрытий, листоштамповочных и горячештамповочных прессов, гибочных машин и металлорежущих станков Применяют при точечной сварке, окраске напылением, обслуживании конвейеров, транспортеров, при выборке деталей из ориентирующей тары и при раскладке деталей Наиболее эффективен в условиях массового и крупносерийного производства при работе с деталями массой до 50 кг в заготовительных, термических и гальванических цехах, на операциях сварки и при обслуживании горячештамповочных комплексов
«Универсал-15»		Обеспечивает автоматизацию операций установки-снятия деталей массой до 15 кг при обслуживании ножниц, гибочных машин и машин литья под давлением, термопластоавтоматов, нагревательных устройств, закалочных ванн, ножниц, обрезных, чеканочных, листоштамповочных и горячештамповочных прессов, нагревательных устройств, транспортеров и конвейеров, легких круглошлифовальных, сверлильных и токарных станков Применяют при точечной сварке, окраске напылением Наиболее эффективен в условиях массового и крупносерийного производства при работе в заготовительных, кузнечно-прессовых, термических цехах и в цехах нанесения покрытий

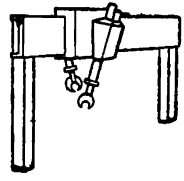
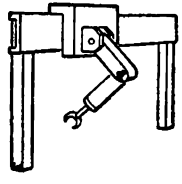
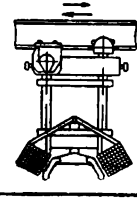
Базовая модель робота и ее модификации	Эскиз	Возможная область применения и характеристика
«Универсал-5»		Обеспечивает автоматизацию установки-снятия деталей массой до 5 кг при обслуживании термопластоавтоматов, машин литья под давлением, обрезных, чеканочных, тистоштамповочных и горячештамповочных прессов, гибочных машин, нагревательных устройств, закалочных ванн и ванн гальванопокрытий, вертикально-сверлильных и бесцентрово-шлифовальных станков, транспортеров и конвейеров Применяют при выборке деталей из ориентирующей тары и при раскладке деталей, а также при сборке модельных блоков для литья по выплавляемым или выжигаемым моделям Наиболее эффективен в условиях массового и крупносерийного производства при обслуживании не более трех технологических позиций
ПР-10И ПР-10С 281 381 М-901		ПР-10 и 281 предназначены для автоматизации операций установки-снятия и выборки-раскладки деталей при обслуживании однокривошипных прессов простого и двойного действия с усилием соответственно до 800 и 400 тс, одностоечных гидропрессов с усилием до 160 тс, чеканочных прессов с усилием до 630 тс и винтовых прессов с усилием до 250 тс Могут быть применены при обслуживании печей, нагревательных устройств, закалочных ванн, транспортеров и конвейеров, термопластоавтоматов, машин литья под давлением с усилием запирания до 250 тс, а также — вертикально-сверлильных и бесцентрово-шлифовальных станков Предназначен для транспортирования и заливки заданного объема металла из раздаточной печи в камеру машины литья под давлением с усилием запирания до 160 тс Предназначен для обслуживания прессов, изготовляющих детали из пластмасс (усилием до 250 тс)

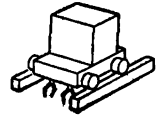
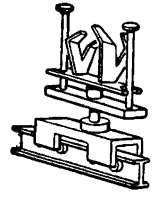
Продолжение табл 11

Базовая модель робота и ее модификации	Эскиз	Возможная область применения и характеристика
А-9720		Предназначен для автоматизации операций при обслуживании машин литья под давлением с усилием запирания до 400 тс и термопластоавтоматов Можно применять для обслуживания нагревательных печей, холодильных установок, закалочных ванн, обрезных прессов, конвейеров и транспортеров, а также — для выборки-раскладки деталей
00160		Предназначен для установки-снятия штучных заготовок массой 80 кг при обслуживании радиально-ковочных и радиально-обжимных машин, бульдозеров, электровысадочных и правильных машин. Заготовки на позицию загрузки могут подаваться в ориентирующей таре или конвейером (транспортером). По специальному заказу выпускают модификацию с одной рукой и грузоподъемностью 160 кг Можно применять в составе комплексов кузнечно-прессовое оборудование—нагревательное устройство—закалочная ванна—транспортер
ПРЦ-1		Предназначен для автоматизации операций установки-снятия деталей массой до 5 кг при обслуживании листоштамповочных прессов усилием до 160 тс в условиях массового и крупносерийного производства

Базовая модель робота и ее модификации	Эскиз	Возможная область применения и характеристика
«Циклон-3Б»	См. для ПРЦ-1	Предназначен для автоматизации операций установки-снятия деталей массой до 3 кг при обслуживании листоштамповочных и горячештамповочных прессов усилием до 100 тс, чеканочных прессов усилием до 250 тс, винтовых прессов усилием до 63 тс, конвейеров, транспортеров, а также для выборки-раскладки деталей в условиях массового и крупносерийного производства
Группа агрегатных манипуляторов с ЦПУ СМ40Ц4300: СМ40Ц4301 СМ40Ц4302 СМ40Ц4303 СМ40Ц4304 СМ40Ц4305 СМ40Ц4306 СМ40Ц4307 СМ40Ц4321 СМ40Ц4322		Предназначена для автоматизации операций установки-снятия деталей массой до 40 кг типа тел вращения (валы, втулки, стаканы, фланцы, кольца) при обслуживании металлорежущих токарных и фрезерно-центровальных станков с горизонтальной осью шпинделя Манипуляторы группы различаются числом рук, захватов, величиной рабочих ходов, числом степеней подвижности, характером подачи заготовки (конвейером и др.)
СМ.80Ц2501		Предназначен для автоматизации операций установки-снятия деталей типа тел вращения при одностаночном обслуживании станков типа 1П752МФ3, РТ725Ф3, 16К30Ф3, 3М1610, 2943, МР179

Продолжение табл 11

Базовая модель робота и ее модификации	Эскиз	Возможная область применения и характеристика
Автоматизированный комплекс 1П732Ф4АМ		Предназначен для работы в составе автоматизированного технологического комплекса· токарный многоопера-ционный станок 1П732Ф4А — манипулятор — тактовый поворотный стол с магазином заготовок типа фланцев массой до 160 кг
ЦРВ-50		Предназначен для автоматизации операций при установке-снятии деталей типа тел вращения (валы и фланцы) массой до 50 кг на станках токарной и фрезерно-центровальной группы. Обеспечивает групповое обслуживание станков: до четырех (в режиме индивидуального обслуживания), до восьми (в режиме жесткой автоматической линии). Выполняет операции очистки баз детали и станка и контроля правильности установки заготовки в зажимное приспособление станка Может применяться для выборки-раскладки деталей, точечной сварки, окраски напылением, струйной промывки и промывки окунанием, для обслуживания ванн гальванопокрытий и транспортно-складских работ
«Спрут-1»		Предназначен для внутрицехового транспортирования контейнеров с грузом в соответствии с предварительно набранным адресом Обеспечивает автоматический съем и установ контейнеров, выбор кратчайшей трассы (по монорельсу), взаимную блокировку при одновременной работе нескольких манипуляторов

Базовая модель робота и ее модификации	Эскиз	Возможная область применения и характеристика
ГМ500Ц0401		Предназначен для обслуживания ванн для очистки деталей (обезжиривание, травление, промывка и т. п.) и нанесения покрытий (цинкование, никелирование, хромирование и т. п.), установленных в составе автоматических и поточных линий Один автооператор обслуживает до 18 технологических позиций. Габарит контейнеров с деталями, м: длина 0,45 и 0,75; ширина 1,3, 1,7 и 2,4; высота 1,4 и 1,7. Размеры рабочей зоны, м; длина 10— 25, высота 1,2, ширина 1,3 и 1,7.
ГМ500Ц0301		Предназначен для обслуживания ванн для очистки деталей (обезжиривание, травление, промывка и т.п.) и нанесения покрытий (цинкование, никелирование, хромирование и т. п), установленных в составе автоматических и поточных линий Один автооператор обслуживает до 18 технологических позиций Обеспечивает транспортирование контейнеров над ваннами, расположенными на одной линии в порядке, соответствующем последовательности технологического процесса, подъем или спуск в ванну контейнеров и контроль их выдержки в ваннах. Габариты контейнеров с деталями, м· длина 0,45 и 0,75, ширина 1,3, 1,7 и 2,4; высота 1,4 и 1,7. Размеры рабочей зоны, м; длина 10—25; высота 1,2 и 1,5; ширина 1,3, 1,7 и 2,4.

стоящий из группы основного технологического оборудования (одного или различного назначения, но с однотипными приемами обслуживания), робота, осуществляющего обслуживание этого оборудования, и транспортно-накопительных устройств. В состав ячейки входят вспомогательное оборудование и устройства, расширяющие функции робота. Ячейка должна иметь единую систему ЧПУ (в том числе и на базе ЭВМ — в зависимости от сложности и многообразия задач, решаемых внутри ячейки), которая управляет работой станков и робота. Иногда целесообразно комплектовать автоматизированную ячейку (с общей системой управления) из модулей, каждый из которых представляет автоматизированную технологическую единицу станок—робот. В этом случае единая система управления ячейкой координирует работу модулей и системы межстаночного транспорта. Объединяясь связующими транспортными звеньями, ячейки могут образовывать сложный производственный комплекс: автоматическую линию, автоматизированный участок, цех и т. п.

Рекомендации. Рекомендации по применению основных отечественных моделей ПР для выполнения основных и вспомогательных операций приведены в табл. 11. В работах [3, 4, 7, 8, 10, 11, 13] приведены примеры применения ПР в различных производственных условиях.

ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА К ПРИМЕНЕНИЮ РОБОТОВ

Прежде всего производят анализ операций, выполняемых оператором, для выделения функций, которые может выполнять ПР. По результатам рассмотрения технологического процесса разрабатывают технические требования к ПР, обслуживаемому ими оборудованию, а также комплекс мероприятий по подготовке производства к применению роботов.

Отбор деталей, подлежащих загрузке с помощью ПР. В первую очередь целесообразно автоматизировать загрузку деталей простейших типов, которые должны отвечать следующим требованиям [8]: иметь однородные по форме и расположению поверхности для базирования и захвата, позволяющие без дополнительной выверки устанавливать их в рабочую зону оборудования; иметь ясно выраженные базы и признаки ориентации; конструктивно-технологические параметры деталей должны позволять производить обработку по групповому методу.

Манипулирование деталями сложных конфигураций с разнообразными формами и расположением базовых поверхностей (вилки, рычаги, кулисы, сложные корпуса, коробки и т. п.) в условиях многономенклатурной обработки требует создания специальных установочных и захватных устройств. Роботы, обеспечивающие загрузку деталей подобных типов, будут экономичны только в условиях массового и крупносерийного производства.

Требования к оборудованию, обслуживаемому ПР. Действующее оборудование приспособлено к обслуживанию оператором. Поэтому применение ПР обычно требует некоторой модернизации оборудования, которая, как правило, заключается в надежной фиксации и автоматизации зажима заготовки в рабочей зоне оборудования, а также обеспечении надежного базирования и закрепления; автоматизации работы ограждения рабочей зоны оборудования, отделении отходов от готовой детали (дробление и смыв стружки, сбрасывание прессостатка и т. д.)

и механизации их уборки; связи систем управления и электросхем ПР и оборудования для обеспечения автоматической работы комплекса, обеспечении дополнительных требований, связанных с особенностями обслуживаемого оборудования (автоматическая смена инструмента, контроль внутри цикла и т. д.) — см. работы [1, 3, 7, 8, 13].

Создание вспомогательных устройств необходимо для обеспечения работы ПР в конкретных производственных условиях. К этим устройствам относятся магазины, спутники, накопители, специализированная тара, набор захватов и г. п. Для их разработки должен быть проведен конструктивно-технологический анализ деталей с точки зрения типизации и группирования деталей по конфигурации и размерам; создания типовых технологических процессов обработки; назначения базовых поверхностей для установки в рабочей зоне оборудования и поверхностей для зажима захватными устройствами; решения о характере ориентаций детали перед установом ее в рабочую зону оборудования (т. е. перед захватом рукой ПР). Желательно, чтобы на позицию загрузки заготовка приходила ориентированной соответственно ее положению в рабочей зоне оборудования на первой операции.

Планировка производственных площадей должна соответствовать конструктивно-технологическим особенностям оборудования и конструктивным особенностям ПР, обеспечивая минимизацию простоев оборудования, связанных с обслуживанием его с помощью ПР. Планировка должна обеспечить связь основных транспортных потоков цеха с технологическими комплексами, обслуживаемыми ПР. Зона обслуживания оборудования должна быть доступной для оператора в периоды времени, не связанные с работой ПР. При организации участка из группы автоматизированных комплексов необходимо предусмотреть место для оператора, безопасное и удобное для наблюдения за работой обслуживаемого оборудования. При планировке производственных площадей должны быть предусмотрены все меры по технике безопасности.

Основные требования к конструкциям ПР. Применение ПР в конкретных производственных условиях целесообразно, если его конструкция удовлетворяет основным требованиям. В число требований входят соответствие конструктивно-технологических параметров ПР (грузоподъемность, скорость перемещений рабочих органов, точность позиционирования, размеры рабочей зоны, тип СПУ, степень защищенности от влияния окружающей среды и т. д.) предполагаемому функциональному назначению Объем операций, выполняемых ПР, и темп их исполнения в сочетании с затратами на приобретение и внедрение ПР должны обеспечивать технико-экономическую эффективность применения ПР — нижнюю границу целесообразности применения ПР Верхняя граница темпа работы ПР диктуется требованиями технологии и вместе с объемом возлагаемых на робот операций экономически целесообразным техническим уровнем конструкции ПР. Должны быть обеспечены соответствие числа степеней подвижности ПР минимально необходимому для выполнения требуемого объема операций (действий); минимизация типоразмеров вспомогательных механизмов, устройств и средств автоматизации, необходимых для правильного течения технологического процесса, а также возможность состыковки робота с основным технологическим оборудованием различного типа и средствами автоматизации, в комплексе с которыми предполагается работа ПР, простота и короткий цикл переналадки, надежность и невысокая

стоимость при эксплуатации; длительный цикл морального износа; высокий коэффициент использования ПР и минимизация времени простоя основного технологического оборудования; возможность изменения конструкции ПР для выполнения вспомогательных работ, не предусмотренных функциональным назначением данной модели [1, 2, 7—10]; требования техники безопасности.

Техника безопасности. Вследствие большого диапазона и высоких скоростей движения, а также значительных размеров рабочих зон ПР являются устройствами повышенной опасности. Выбор тех или иных мер по технике безопасности зависит от конструктивных особенностей моделей ПР и конкретных условий их применения. Устройства безопасности в ряде случаев закладываются в конструкцию самих роботов. Так, в ряде напольных стационарных ПР, работающих в цилиндрической системе координат, поворот корпуса робота может ограничиваться жесткими механическими упорами. Часто такие роботы вместе с обслуживаемым оборудованием ограждают. Система предохранителей исключает автоматическую работу робота при открытом ограждении. Передвижные ПР часто снабжают передвижными ограждениями, подпружиненными буферами, устройствами световой и звуковой сигнализации. При соприкосновении такого буфера с каким-либо предметом происходит немедленная аварийная остановка ПР. Возможно применение фотодатчиков, подпружиненных трапов и других устройств, также связанных с выключателями. Эти устройства должны отключать или не допускать возможности действий ПР в зоне нахождения оператора.

Расчет затрат времени при обслуживании ПР группы основного технологического оборудования. При установке одного робота к каждому станку (прессу и т. п.) простой основного оборудования, связанный с обслуживанием, может быть минимальным, однако это часто приводит к необоснованному увеличению числа ПР и снижению коэффициента их использования.

При обслуживании ПР группы машин, работающих в режиме жесткой автоматической линии, их оптимальное число устанавливают исходя из заданного темпа работы линии $T_л$ и несовмещенного с работой основного оборудования времени t, затрачиваемого ПР для обслуживания одной технологической позиции: $n < \frac{T_л}{t} + 1$

В общем случае оптимальное число единиц основного технологического оборудования, вероятные значения его дополнительных простоев и коэффициент использования ПР могут быть найдены построением упорядоченного ряда обслуживания, если известны конкретные значения T_i и t_i. Однако при широкой номенклатуре обрабатываемых деталей и частой смене объектов производства, а также при независимой работе оборудования целесообразно уже на стадии проектирования провести ориентировочную оценку показателей, описанных ранее [14].

При закреплении за участком из n единиц оборудования, обслуживаемых одним ПР, номенклатуры деталей, длительность основного времени обработки которых T_i распределена в интервале a—b по закону $P = F(T)$, с достаточной для практики точностью можно считать, что вероятность обслуживания роботом в случайный момент времени t-го станка $P_t = \frac{t}{T_i + t}$.

Вероятность совпадения периодов обслуживания k единиц оборудования равна произведению вероятностей: $P_{1,\,2,\,\ldots,k} = P_1 P_2 P_3, \ldots, P_k$.

Простои основного оборудования участка:

при обслуживании роботом двух станков $П_2 = P_{1,\,2} = P_1 P_2$;

при обслуживании участка из трех станков $П_3 = P_{1,\,2} + P_{2,\,3} + P_{3,\,1} - P_{1,\,2,\,3}$;

при обслуживании участка из четырех станков $П_4 = 6\,(P_{1,\,2} - P_{1,\,2,3}) + 4\,(2P_{1,\,2,\,3} - P_{1,\,2,\,3,\,4}) + 3P_{1,\,2,\,3,\,4}$ и т. д. для любого $П$.

Коэффициенты, стоящие перед скобками, равны биномиальным, а внутри скобок перед первым слагаемым — весовым (числу простаивающего оборудования из общего числа, требующего обслуживания).

Средние значения величин $\overline{P}_1$; $\overline{P}_{1,\,2}$; $\overline{P}_{1,\,2,\,3}$ и т. д. могут быть найдены исходя из закона распределения $P = F\,(T)$. При подстановке

$$\tau = \frac{T}{t} \quad \text{получим} \quad P = \int_a^b \frac{1}{\tau + 1} F\,(\tau)\,d\tau.$$

Для большинства законов распределения вычисление интеграла в квадратурах затруднительно, и для нахождения искомых значений следует пользоваться методами численного интегрирования на ЭЦВМ.

Коэффициент использования ПР при обслуживании n единиц оборудования $K_{\text{р}} = \dfrac{1}{(\overline{\tau} + 1)\left(1 + \dfrac{П_n}{n}\right)}$, где $П_n$ — суммарные простои участка.

Расчет экономической эффективности применения ПР. Экономическую эффективность производственных ПР (выполняющих основные технологические операции) рассчитывают так же, как и эффективность основного технологического оборудования. При расчете экономической эффективности подъемно-транспортных ПР необходимо рассматривать экономическую эффективность всего комплекса оборудование — робот по сравнению с базовым вариантом, что сводится к расчету по методике, изложенной в гл. 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Артоболевский И. И., Кобринский А. Е.** Роботы. — «Машиноведение», 1970, № 5, с. 3—11.

2. **Автоматические манипуляторы** с программным управлением (промышленные роботы). Состояние, перспективы, проблемы. — «Станки и инструмент», 1974, № 11, с 4—11. Авт.: А. Е. Кобринский, А. И. Корендясев, Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес.

3 **Белянин П. Н.** Промышленные роботы. М., «Машиностроение», 1975. 398 с

4. **Захватные устройства** промышленных роботов. В кн.: Оборудование с числовым программным управлением М., НИИМАШ, 1975, № 4, с. 11—17 Авт : В С. Белов, Ю. Г. Козырев, С. В. Житомирский и др.

5 **Интегральные роботы** Сборник статей. Пер. с англ Под ред. Г Е Позднияка М., «Мир», 1973 421 с.

6 **Кобринский А. Е.** Вот они — роботы М., «Наука», 1972 176 с.

7 **Козырев Ю. Г.** Промышленные роботы для обслуживания кузнечно-прессового оборудования. — «Кузнечно-штамповочное производство», 1976, № 3, с. 10—12.

8 Козырев Ю. Г., Романов К. Ф. Конструкции и применение промышленных роботов в механической обработке М., НИИМАШ, 1976 61 с.
9 Козырев Ю. Г., Тарасевич И. В. Предложения по типизации парка промышленных роботов в отрасли В кн Оборудование с числовым программным управлением М., НИИМАШ, 1976, № 4, с 10—17
10 Кацухико Нода. Пособие по применению промышленных роботов Пер с япон М., «Мир», 1975 452 с
11 Мишкинд С. И. Опыт эксплуатации промышленных роботов По материалам Второго Международного симпозиума по промышленным роботам М., НИИМАШ, 1974 96 с
12 Промышленные роботы Структура, типы, характеристики — «Машиноведение», 1973, № 6, с 3—10 Авт., Б Н Сурнин, А Г Баранов, И В Калабин, В П Степанов
13 Промышленные роботы Типы, характеристики, применение М., ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1976 64 с Авт Ю Г Козырев, С С Аншин, В Б Великович, С В Житомирский
14 Романов В. Л., Козырев Ю. Г. Анализ времени обслуживания промышленным роботом группы оборудования В кн Оборудование с числовым программным управлением М., НИИМАШ, 1977, № 1, с 11—12
15 Станки с программным управлением Справочник. М., «Машиностроение», 1975. 288 с
16 Челищев Б. А., Шрамко В. Д. Манипулятор для ковки по заданной программе — «Вестник машиностроения», 1976, № 2, с 56—58
17. Юревич Е. И., Корытко О. Б. Комплекс электромеханических роботов для автоматизации производственных процессов в машиностроении. В кн Оборудование с числовым программным управлением М., НИИМАШ, 1975, № 3, с. 1—12.

Глава 11

АВТОМАТИЗАЦИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ

ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА

Автоматический контроль — это контроль, при котором действия оператора (загрузка детали, установка на контрольной позиции, контроль и т. д.) полностью заменены действиями механизма измерительного устройства.

Под полуавтоматическим контролем понимают контроль, при котором измерительное средство осуществляет только непосредственно операцию контроля с автоматической выдачей сигнала (например, на светофорное табло), а другие функции контроля (транспортирование, базирование и т. д.) осуществляются оператором.

При механизации контроля одну из функций контроля, чаще всего транспортирование или перемещение измеряемой детали относительно первичного преобразователя (например, отсчетного устройства), выполняет механизм измерительного средства, а процесс измерения (чаще всего отсчитывание показаний) — оператор.

Основное назначение автоматизации и механизации контроля — повышение производительности контроля и, следовательно, сокращение числа контролеров, повышение уровня точности контроля благодаря устранению или уменьшению влияния субъективных погрешностей.

К средствам автоматизации и механизации контроля обычно относят все приборы для активного контроля, под которыми следует понимать измерительные средства, непосредственно встроенные в технологический процесс в виде приборов, установленных непосредственно на станке, или в виде подналадочных устройств, управляющих (чаще всего автоматически) уровнем настройки станка.

В отличие от них приборы, в которых осуществляют контроль после окончания обработки и результаты контроля фиксируют уровень точности, а не управляют технологическим оборудованием, часто называют приборами «пассивного» контроля.

СРЕДСТВА АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

Основные виды. Средства активного контроля разделяют на приборы, устанавливаемые непосредственно на станке и предназначенные для контроля в процессе обработки, и на приборы, устанавливаемые вне станка и предназначенные для контроля непосредственно после окончания обработки Последние называют подналадчиками: по результатам контроля они выдают сигнал на подналадку станка.

Приборы для контроля в процессе обработки наибольшее распространение получили на шлифовальных и хонинговальных станках. При ступенчатом изменении размера (например, при точении, фрезеро-

вании и т. д.) контроль в процессе обработки весьма ограничен, и в основном используется режим подналадки.

По способу выдачи измерительной информации приборы для активного контроля разделяют на показывающие (оператор определяет размер непосредственно по шкале отсчетного устройства и он же изменяет режимы обработки) и командные (сигнал на подналадку в станок подается без участия оператора).

В командных приборах, как правило, имеется световая сигнализация о состоянии команд и шкала для отсчета значения текущего размера.

Независимо от технологического оборудования средства активного контроля строятся по единой принципиальной схеме, в которую входит (рис. 1) измерительный узел *2*, воспринимающий изменение размера

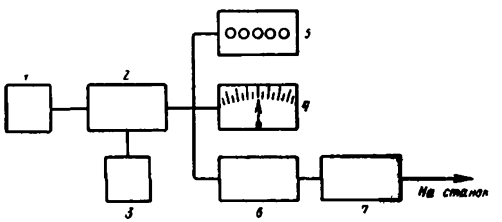


Рис. 1. Блок-схема прибора для контроля в процессе обработки

обрабатываемой детали *1*. Измерительный узел включает в себя измерительную оснастку в виде скоб, призм, несущих на себе первичный преобразователь отсчетно-командного прибора, подводящее устройство *3*. Сигнал измерительной информации, выданный измерительным узлом *2*, поступает одновременно в блок отсчетного устройства *4*, светофорное устройство *5* и командное устройство *6* и после усиления в усилителе *7* — на станок для изменения режимов обработки. В зависимости от степени автоматизации количество функциональных узлов меняется. Например, в показывающих приборах имеются только функциональные узлы *2* и *4*, а остальные отсутствуют. Некоторые функциональные узлы, особенно узлы *4*, *5* и *6*, конструктивно объединяют в единый узел, который называют отсчетно-командным устройством.

В Бюро взаимозаменяемости Минстанкопрома, которое является основным разработчиком приборов для активного контроля, выпускаемых Челябинским инструментальным заводом, созданы типовые пневматические и индуктивные отсчетно-командные устройства для использования в приборах активного контроля на различных станках.

Отсчетно-командные устройства к приборам активного контроля. В СССР наибольшее распространение получили пневматические приборы для активного контроля [1, 2, 9].

Более удобными для работы в отношении используемой энергии являются электрические, чаще всего индуктивные приборы. Они обладают всеми эксплуатационными достоинствами пневматических приборов, однако конструкция их значительно сложнее, чем пневматических приборов, и, следовательно, для их обслуживания и ремонта требуются более квалифицированные специалисты.

Отсчетно-командное пневматическое устройство БВ-6060. В качестве чувствительного элемента в этом

устройстве используются сильфоны (рис. 2, *а*). Воздух под давлением 3,2—6 кгс/см² после фильтра-стабилизатора *1* через входные сопла *2* поступает одновременно в два сильфона *3*, *4*. Сильфон *3* соединен с соплом *15*, установленным в измерительном узле, а сильфон *4* через сопло *5*

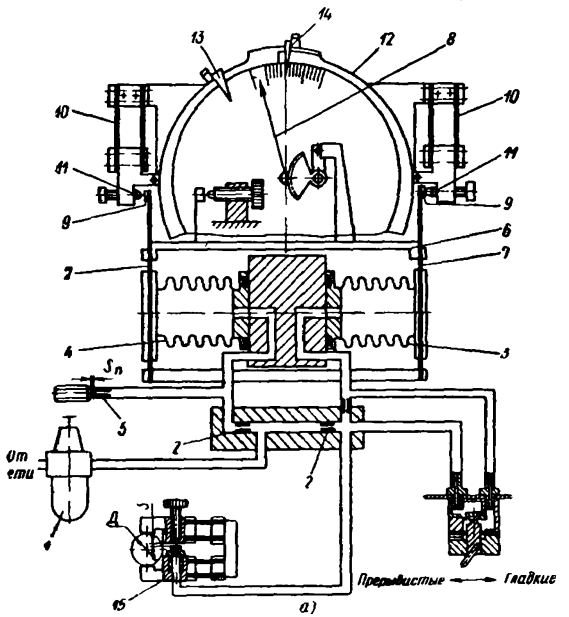
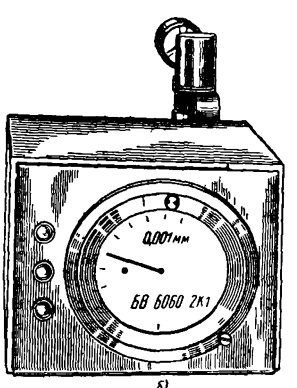


Рис. 2. Отсчетно-командное устройство БВ-6060:

а — схема; *б* — общий вид двухкомандного устройства с ценой деления 0,001 мм (БВ-6060-2К-1)



противодавления соединен с атмосферой. Сильфоны связаны между собой планкой *6*, подвешенной на плоских пружинах *7* и несущей первый рычаг рычажно-зубчатой системы, которая передает перемещение сильфонов на стрелку *8*. На планке *6* находятся электрические контакты *9* Соосно с находящимися на планке *6* подвижными электрическими контактами *9* на плоских пружинах *10* подвешены неподвижные контакты *11*. Перемещение этих контактов производится с помощью нескольких кулачков *12*, обеспечивающих настройку прибора на соответствующую команду. С кулачками связаны указатели *13* и *14*, по положению которых на шкале можно судить о настроенном интервале между командами.

При изменении размера *Д* детали в процессе обработки изменяется зазор *S* перед соплом *15* измерительного узла, что приводит к изменению расхода воздуха, а следовательно, к изменению давления в сильфоне *3*. Вследствие этого сильфоны смещаются в сторону большего давления, замыкая одну из пар контактов *9* и *11*. Электронное реле преобразует электрические импульсы, появляющиеся при замыкании контактов, в команды для управления станком.

Отсчетно-командные устройства бывают двух исполнений.

В устройстве одного исполнения содержится блок усиления, усиливающий сигнал до уровня, при котором этот сигнал может управлять исполнительными реле станка. Устройство другого исполнения делают без усилителя, и тогда при пользовании им в электрическую схему станка следует вводить усилитель. В обозначение такого блока добавляют букву С (слаботочное).

Выпускают также отсчетно-командные устройства только для визуального отсчета без выдачи команды. В обозначение такого блока добавляют букву В (визуальный, например БВ-6060В). В варианте с командами блок БВ-6060 изготовляют на две и четыре команды.

Отсчетно-командные блоки устройства различаются в конструктивном оформлении. В основном их изготовляют в виде отдельного устройства, смонтированного в собственном корпусе, и называют настольными; другая модификация предназначена для встраивания в станок и изготовляется без корпуса. Она называется щитовым блоком; в обозначение таких блоков вводят букву Щ.

Например, БВ-6060-4К-Щ0,5 означает, что у блока четыре команды, щитовое исполнение, цена деления шкалы 0,5 мкм.

Таким образом, на базе одной схемы сильфонного устройства в зависимости от настольного или щитового исполнения, от цены деления и числа команд существует 20 модификаций отсчетно-командного устройства с усилительным устройством и столько же так называемых слаботочных устройств.

Отсчетно-командное индуктивное устройство БВ-6119. Отсчетно-командное устройство конструктивно оформлено в одном корпусе (рис. 3), где размещаются силовой трансформатор *Тр*, стабилизаторы *СН*, *Ст*, блок реле *БР* и блок модулей *БМ*. Силовой трансформатор *Тр* со стабилизаторами *Ст* и *СН* образуют блок питания отсчетной и командной частей устройства.

Блок реле БР состоит из четырех командных реле Р3—Р6, реле времени Р2 и циклового реле. Этот блок выдает команды в схему станка для управления режимом его работы.

Блок модулей *БМ* состоит из усилителя напряжения *УН*, усилителя дифференциального *УД*, генератора-детектора *ГД*, усилителя постоянного тока *УПТ*, разрядного устройства *УР*, формирователя команд *2ФК-2* и реле времени *1ФК-2*. Усилитель напряжения *УН* предназначен для усиления переменного напряжения с выхода моста, образованного катушками индуктивного преобразователя и обмоткой трансформатора задающего генератора. Коэффициент усилителя 20 ± 10%, выходное напряжение 3 В, стабильность коэффициента усиления 1%.

Усилитель дифференциальный *УД* усиливает сигнал дифференциальной цепи, который используется для корректировки уровня срабатывания предварительной команды. Коэффициент усиления 50 ± 10%, выходное напряжение 6 В, стабильность коэффициента усиления 1%.

Генератор-детектор *ГД* предназначен для питания преобразователя, цепей смещения нуля и фазового детектора переменным напряжением частотой 10—12 кГц.

Фазовый детектор преобразует переменное напряжение измерительного сигнала в постоянное знакопеременное напряжение.

Усилитель постоянного тока УПТ предназначен для согласования выхода фазового детектора со стрелочным прибором и входных цепей

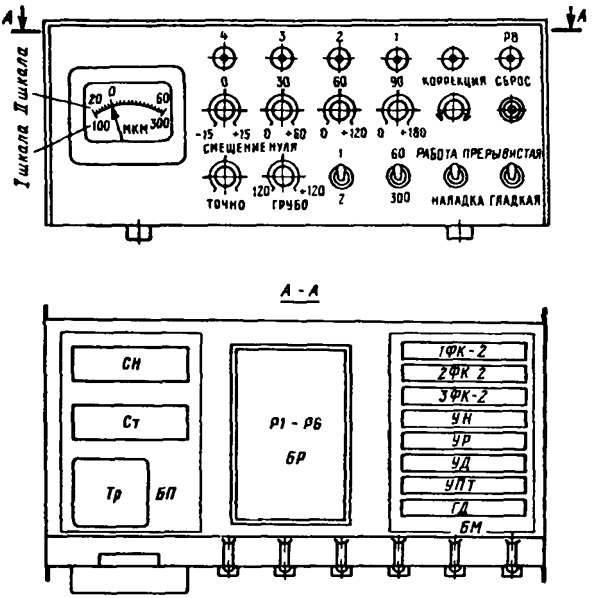


Рис. 3. Отсчетно-командное устройство БВ-6119

формирователей команд, а также для запоминания на емкости сигнала при обработке деталей с прерывистыми поверхностями.

Устройство разрядное *УР* сокращает время разряда запоминающей емкости усилителя постоянного тока *УПТ* при обработке детали с прерывистыми поверхностями.

Формирователи команд 2ФК-2 — пороговые элементы, служат для формирования команд управления станком.

Реле времени 1ФК-2, предназначенное для получения временной задержки в цепи блокировки команд управления станком, является пороговым элементом.

Отсчетно-командное устройство может работать в двух режимах: гладком, когда обрабатываются сплошные поверхности, и прерывистом, когда обрабатываются поверхности с разрывами.

На отсчетной части устройства нанесены шкалы с возможными ценами делений 0,0005; 0,001; 0,005 мм и диапазонами показаний соответственно 0,040; 0,08 и 0,40 мм.

Командная часть устройства выдает четыре команды, которые имеют следующие пределы регулировки: 1-я — 0—0,18 мм; 2-я — 0—0,12 мм; 3-я — 0—0,06 мм и 4-я (окончательная) ±0,015 мм. Погрешность срабатывания окончательной команды 0,2 мкм; погрешность настройки окончательной команды не более 0,5 мкм, а смещение уровня настройки после 1500 измерений (но не более чем за 3 ч работы) не более 0,8 мкм. Имеется вариант с двумя командами.

Погрешности срабатывания предварительных команд составляют не более 0,2 мкм на участке шкалы ±0,01 мм и не более 0,5 мкм на всей шкале.

Мощность, коммутируемая контактами командных реле, 500 Вт; напряжение питания 110, 127, 220 В с допустимыми отклонениями +10% ± 15%. Потребляемая мощность 50 Вт.

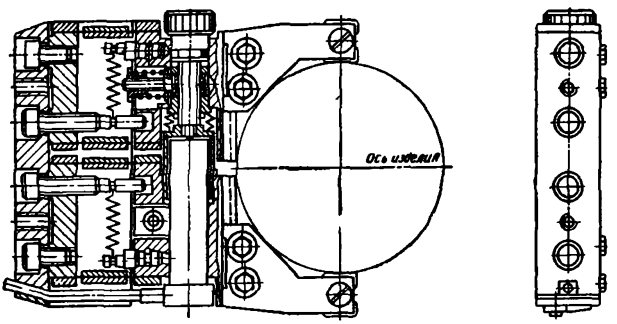


Рис. 4. Двухконтактная скоба БВ-3159 с индуктивным преобразователем

Средства активного контроля при обработке на круглошлифовальных станках. Приборы этой группы наиболее широко используют при наружном шлифовании (табл. 1).

Помимо различий по виду отсчетно-командных устройств, приборы этой группы различаются базированием измерительного узла на обрабатываемой детали. Наибольшее распространение имеют так называемые настольные двухконтактные скобы и навесные трехконтактные скобы.

Двухконтактные скобы (рис. 4) предназначены в основном для станков с автоматическим или полуавтоматическим циклом работы при врезном шлифовании и шлифовании на проход. Скобу устанавливают на подводящем устройстве, прикрепленном к столу или станине станка, благодаря чему зона резания свободна для загрузки заготовок, в том числе из магазина или бункера.

Навесная скоба (рис. 5) предназначена для контроля валов при врезном шлифовании. Скобу подвешивают с помощью кронштейна, обычно на кожухе шлифовального круга и вручную устанавливают на поверхность контролируемой детали.

Трехконтактная скоба БВ-П3156 (рис. 6) с механическим показывающим устройством предназначена для станков, работой которых полностью управляет оператор. Это простейший вид приборов активного

1. Приборы и системы для активного контроля при обработке наружных поверхностей на круглошлифовальных станках

Прибор или система	Диапазон измерений, мм	Число управляемых команд	Цена деления шкалы, мм	Диапазон показаний, мм	Измерительное усилие, гс	Нестабильность срабатывания окончательной команды, мм
Прибор активного контроля показывающий механический БВ-П3156	4—40 10—80 40—125 80—200	—	0,001	0,6	600	—
Система измерительная активного контроля БВ-П6060 (для диаметров валов с гладкой и прерывистой поверхностью)	2,5—200 (с настольной скобой) 4—200 (с навесной скобой)	4 и 2	0,0005 или 0,001 или 0,002	0,06 или 0,120 или 0,240	С настольной скобой — 600, с навесной скобой — 800	0,0005
Система измерительная активного контроля БВ-4100 (для диаметров валов с гладкой и прерывистой поверхностью)			0,001 и 0,005	0,08 и 0,4		
Система измерительная активного контроля БВ-4009К для валов (с возможностью контроля при сопряженном шлифовании)	5—125 (со столиком); 2,5—125 (со скобой)	2	0,0005	0,06	400 (со столиком); 600 (со скобой)	0,0005

Продолжение табл. 1

Прибор или система	Диапазон измерений, мм	Число управляемых команд	Цена деления шкалы, мм	Диапазон показаний, мм	Измерительное усилие, гс	Неотабильность срабатывания окончательной команды, мм
Система измерительная активного контроля БВ-4180 для валов повышенной точности (с возможностью контроля при сопряженном шлифовании)	5—125 (отверстий); 2,5—125 (валов)	2 и 4	0,0005; 0,001; 0,005	0,04; 0,08; 0,40	600	0,0003
Система измерительная активного контроля ХШ-9М (для диаметров многоступенчатых валов)	15—200	5	0,001 и 0,005	—	700 и 400	—
Система измерительная активного контроля БВ-4101 (быстропереналаживаемая)	10—70	2	0,002	0,24	400	0,002
Система измерительная активного контроля БВ-4105М-1 (быстропереналаживаемая для диаметра вала при шлифовании на проход)						

Продолжение табл. 1

Прибор или система	Диапазон измерений, мм	Число управляемых команд	Цена деления шкалы, мм	Диапазон показаний, мм	Измерительное усилие, гс	Нестабильность срабатывания окончательной команды, мм
Система измерительная активного контроля БВ-4105М-2 (быстропереналаживаемая для неавтоматических станков)	10—70	1	0,002	0,24	400	0,002
Система измерительная активного контроля БВ-4144 (для валов при скоростном шлифовании)	10—80	2	0,001 и 0,005	0,08 и 0,40	600	0,001
Система измерительная активного контроля БВ-4185 (для валов с прерывистой поверхностью малой протяженности)		2 и 4			200	0,0003
Система измерительная активного контроля БВ-4143 (для валов к станку ХШ4-80)	10—80	4			—	0,0005 и 0,001
Система измерительная активного контроля БВ-4170 (к станку ХШ2-40)	55—75 75—95 95—125	2	0,002	0,6		—

Примечание. Приборы, кроме БВ-П3156, БВ-П6060, БВ-4100, изготовляют по заказам.

контроля, который сокращает вспомогательное время при обработке, но эти приборы менее эффективны по сравнению с приборами, выдающими команды станкам для изменения режимов резания.

Измерительная система БВ-П6060 (табл. 1) включает в себя большую группу приборов, различающихся ценой деления отсчетного устройства (0,5, 1 и 2 мкм), видом скобы (двухконтактная и трехконтактная), видом подводящего устройства. Отсчетно-командное устройство может быть настольного и щитового исполнения для встраивания

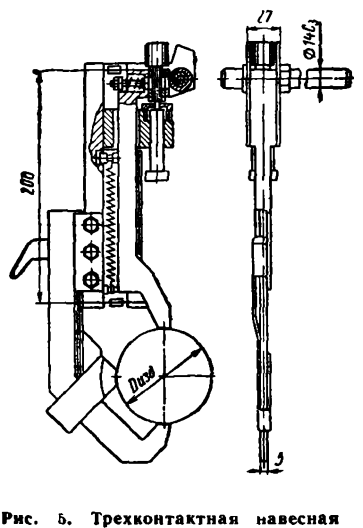


Рис. 5. Трехконтактная навесная скоба БВ-3154 с индуктивным преобразователем

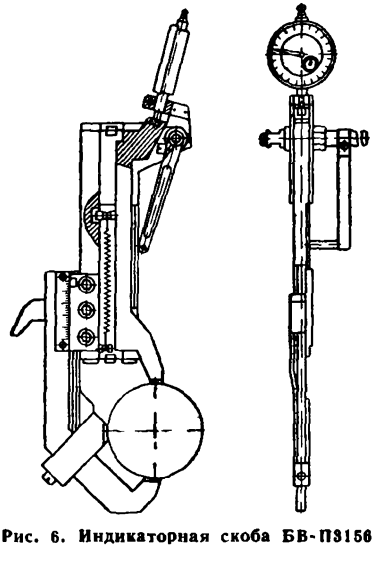


Рис. 6. Индикаторная скоба БВ-П3156

отсчетно-командного блока в управляющий блок станка. Развернутая номенклатура приборов активного контроля с пневматическим отсчетно-командным устройством приведена в табл. 2. В табл. 3 приведена группа измерительных средств, основанных на индуктивном принципе действия, образующих измерительную систему БВ-4100.

Особую группу составляют приборы, входящие в систему БВ-4009К. В основном эти приборы (рис. 7) применяют при так называемом сопряженном шлифовании. Принцип его заключается в том, что для образования необходимого сопряжения сначала обрабатывается внутренняя поверхность, а потом по действительному размеру — наружная поверхность с участием прибора и выдачей команд на изменение режимов обработки. Последняя команда на остановку станка подается при достижении размера вала, который образует необходимый зазор или натяг с ранее обработанным отверстием. Прибор снабжается двумя измерительными узлами: одним в виде настольной или навесной скобы для измерения обрабатываемого вала, другим в виде столика или пневматической пробки (контактной или бесконтактной) для фиксирования действительного размера отверстия (на рис. 7 показан при-

бор, в котором использованы двухконтактная скоба БВ-3153 и столик БВ-3111А). Столики применяют, когда внутренняя поверхность небольших габаритов, а пневматические пробки — когда отверстие сделано в большом корпусе. Оба измерительных узла включают либо в измерительную ветвь отсчетно-командного устройства (см. рис. 2), тогда в обозначение прибора добавляют буквы НД (например, БВ-4009-НД), либо второй узел включают в ветвь противодавления (БВ-4009-Д).

Такой способ использования приборов активного контроля позволяет обеспечить точность сопряжения в пределах 2—5 мкм при диаметре обрабатываемой детали до 100 мм.

На приборе возможны также раздельные измерения диаметра вала и отверстия, для чего в комплект прибора входит переключатель режима измерения БВ-3110. В табл. 4 показаны возможные варианты приборов с использованием типовых решений. Аналогичная система, основанная на индуктивном принципе действия, указана в табл. 1 (БВ-4180).

Измерительная система ХШ-9М (см. табл. 1) — особый прибор; при указанном диапазоне измерения она не требует установочных мер, как это необходимо при использовании других приборов активного контроля. В этом приборе используется емкостный преобразователь и соответствующее отсчетно-командное устройство, в котором предусматривается выдача до пяти команд.

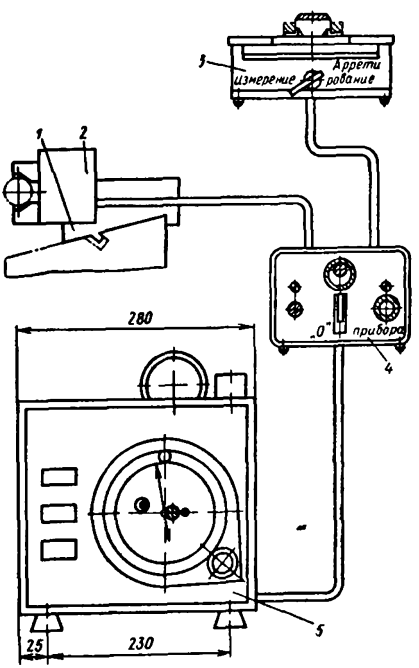


Рис. 7. Прибор БВ-4009К для сопряженного шлифования:

1 — устройство для крепления скобы на станке; *2* — скоба для измерения диаметра вала; *3* — устройство для фиксирования диаметра отверстия, *4* — переключатель, *5* — отсчетно-командное устройство

У приведенных в табл. 1 измерительных быстропереналаживаемых систем вместо измерительной скобы применяют сменные измерительные призмы БВ-3163 (рис. 8), которые поджимаются непосредственно к обрабатываемой детали. По диагонали призмы расположено измерительное сопло *1*. Контактные поверхности оснащены твердым сплавом, а предварительный зазор $S = 0{,}1 \pm 0{,}01$ мм выставляется с помощью винтов *2* и *3* при изготовлении призмы. Возможности регулировки призм для размеров 10—30 мм в пределах $\pm 0{,}5$ мм; для размеров 32—52 мм — в пределах $\pm 1{,}0$ мм и для размеров 55—70 мм — в пределах $\pm 2{,}5$ мм. Но этой регулировкой пользуются только при изготовлении

2. Номенклатура пневматических приборов активного

Функциональный элемент к приборам активного контроля	Модификация							
	11	12	13	14	15	16	17	18
Скоба измерительная								
навесная трехконтактная								
БВ-3155-40 (4—10) *1	+		+					
БВ-3155-80 (10—80) *1					+		+	
БВ-3155-125 (40—125) *1								
БВ-3155-200 (80—200) *1								
настольная двухконтактная								
БВ-3153-40 (2,5—40) *1		+		+				
БВ-3153-80 (10—80) *1						+		+
БВ-3153-125 (35—125) *1								
БВ-3153-200 (12—200) *1								
Устройство подводящее								
БВ-3221 (все станки) *2	+					+		
БВ-3102Т-51 (3А151, 3Б151) *2						+		
БВ-3102Т-53 (3А161, 3Б161) *2								
БВ-3102Т-55 (3А164, 3Б164) *2								
БВ-3102Т-59 (3А150) *2		+						
БВ-3102Т-61 (3А140, 3А141) *2								
БВ-3102Т-62 (3А130, 3А131) *2								
БВ-3102Т-56 (ХШ1-0,5) *2								
БВ-3151-1 (3Е153) *2								
БВ-3151-3 (3В110, 3В110А) *2								
БВ-3151-2 (3Е12) *2								
БВ-3151-4 (3В10) *2								

*1 В скобках указаны пределы измерения, мм.
*2 В скобках указаны станки, на которых применяется устройство
*3 Модификация 11 означает, что это прибор БВ-П6060-11, 12 —

Примечания: 1. У скоб мод. БВ-3155-40, БВ-3150-80, БВ-3155-125, командное устройство БВ-6060-2К-1 с ценой деления 0,001 мм и двумя коман с ценой деления 0,5 и 2 мкм с четырьмя командами и без команд, с узкими ско устройств с ходом 60, 100 и 150 мм. 3. Устройство подводящее мод. БВ-3221— мальных. 4. Знаком «+» отмечены функциональные элементы, входящие приборов и другими функциональными элементами, содержащимися в таблице

контроля на базе измерительной системы БВ-П6060

БВ-П6060 *3

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
+		+		+		+					+	+		+	+			
	+		+		+		+	+	+	+			+			+	+	+
+				+														
	+				+													
								+										
									+									
										+	+							
												+						
													+	+				

подводящее для скоб.
БВ-П6060-12 и т. д.

БВ-3155-200 ширина 8 мм, у остальных — 24 мм. 2. У всех приборов отсчетно-
дами. Приборы могут комплектоваться отсчетно-командным устройством
бами и подводящими устройствами для них и гидроцилиндрами подводящих
для скоб трехконтактных, остальные устройства — для двухконтактных нор-
в модификацию приборов основного назначения. Возможно комплектование

3. Номенклатура индуктивных приборов активного

Функциональный элемент к приборам	Модификация									
	—	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Отсчетно-командное устройство:										
БВ-6119-01 (четыре команды)					+	+	+	+		
БВ-6119-02 (две команды)	+	+	+	+					+	+
Скоба измерительная.										
настольная двухконтактная										
БВ-3152-40 (25—40) *1	+				+				+	
БВ-3152-80 (10—80) *1		+				+				+
БВ-3152-125 (40—125) *1			+				+			
БВ-3152-200 (80—200) *1				+				+		
навесная трехконтактная										
БВ-3154-40 (2,5—40) *1										
БВ-3154-80 (10—80) *1										
БВ-3154-125 (40—125) *1										
БВ-3154-200 (80—200) *1										
Устройство подводящее										
БВ-3221 (все станки) *2										
БВ-3221-01 (все станки) *2										
БВ-3102Т-51 (3А151, 3Б151) *3										
БВ-3102Т-53 (3А161, 3Б161) *3										
БВ-3102-060 (60) *3									+	+
БВ-3102-100 (100) *3										
БВ-3102-160 (160) *3										

*1 В скобках указаны пределы измерения, мм
*2 В скобках указаны станки, на которых применяется подводящее
*3 В скобах указан ход штока гидроцилиндра, мм.

Примечания: 1. У скоб мод. БВ-3152-40, БВ-3152-80, БВ-3152-125, командного устройства 0,001 и 0,005 мм с диапазоном показаний соответственно мод БВ-3221, БВ-3221-01 для скоб трехконтактных, БВ-3102Т-51,

контроля на базе измерительной системы БВ-4100

БВ-4100

35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
		+	+	+	+					+	+	+	+						
+	+					+	+	+	+					+	+	+	+	+	+
		+				+				+									
			+				+				+			+					
+				+				+				+			+				
	+				+				+				+						
																+			
																	+		
																		+	+
																+	+		
																		+	+
														+					
		+	+			+	+			+	+				+				
+				+				+				+							
	+				+				+				+						

устройство.

БВ-3152-200 ширина 24 мм, у остальных — 8 мм. 2. Цена деления отсчетно- 0,08 и 0,40 мм 3 См. примечание 4 к табл. 2 4. Устройства подводящие БВ-3102Т-53 — для двухтактных

4. Номенклатура пневматических приборов активного контроля при сопряженном шлифовании на базе измерительной системы БВ-4009

Функциональный элемент к приборам	Модификация БВ-4009															
	1	2	3	4	5	6	7	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	для станка модели															
	3Е153	3Е12	3В110	3В10	3А151	3А161	3А150	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Отсчетно-командное устройство																
БВ-6060-2к-0,5-С (две команды) *1 БВ-6060-2к-1-С (две команды) БВ-6060-4к-0,5-С (четыре команды) БВ-6060-4к-1-С (четыре команды)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Устройство измерительное																
скоба двухконтактная *2																
БВ-3153-40 (2,5—40) *3	+		+	+			+	+			+		+			
БВ-3153-80 (10—80) *3		+			+				+			+			+	
БВ-3153-125 (40—125) *3						+				+			+			+
скоба трехконтактная *2																
БВ-3155-40 (4—40) *3																
БВ-3155-80 (10—80) *3																
БВ-3155-125 (40—125) *3																
стол универсальный БВ-311А (5—125) *3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
пробка																
контактная специальная (при заказе) *3																
бесконтактная БВ-3198 (5—125) при заказе *3														+	+	+

Продолжение табл. 4

Функциональный элемент к приборам	Модификация БВ-4009															
	1	2	3	4	5	6	7	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	для станка модели															
	3Е153	3Е12	3В110	3В10	3А151	3А161	3А150	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Устройство подводящее для скоб двухконтактных																
БВ-3151-1 (3Е153) [*4]	+															
БВ-3151-2 (3Е12) [*4]		+														
БВ-3151-3 (3В110) [*4]			+													
БВ-3151-4 (3В10) [*4]				+												
БВ-3102Т-59 (3А151) [*4]							+									
БВ-3102Т-51 (3А161) [*4]					+											
БВ-3102Т-53 (3А150) [*4]						+										

[*1] Цена деления 0,5 мкм (у остальных отсчетно-командных устройств — 1 мкм).
[*2] Для вала (остальные измерительные устройства — для отверстия).
[*3] В скобках указан предел измерения, мм.
[*4] В скобках указан станок, на котором применяется устройство.

Примечания: 1. У отсчетно-командных устройств мод. БВ-6060-2к-0,5-С и БВ-6060-4к-0,5-С диапазон показаний 60 мкм, у остальных — 120 мкм. Приборы могут быть оснащены отсчетно-командными устройствами с ценой деления 0,005 мм, подводящим устройством для трехконтактных скоб и гидроцилиндрами подводящего устройства с ходом 60, 100 и 160 мм. 2. См. примечание 3 к табл. 2.

и ремонте призм. Выставление зазора осуществляют по устанавливаемому на призме валику, размер которого соответствует обрабатываемому. При износе поверхностей призмы и изменении в связи с этим уровня настройки не более чем на ±10 делений по шкале восстановление уровня настройки производится регулировкой команд на отсчетно-командном устройстве. При большом износе требуется регулировка

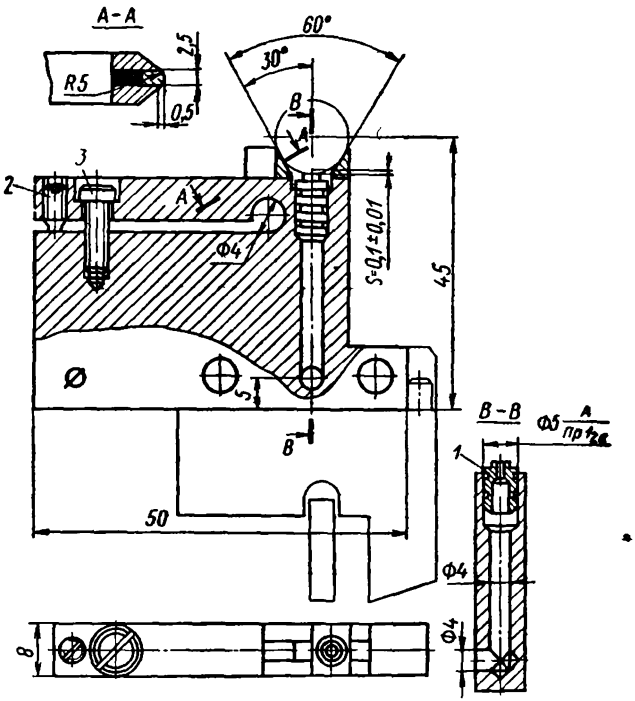


Рис. 8. Призма БВ-3163 для измерения диаметров 12—15 мм к быстропереналаживаемым приборам активного контроля

призмы. Каждую призму изготовляют под конкретный размер и даже под конкретное поле допуска обрабатываемой детали. При необходимости перехода на обработку детали другого размера или того же, но с другим расположением или величиной допуска, заменяют призму, на которой имеется маркировка размера и обозначено поле допуска. При замене не требуется никакой регулировки. Быстросменные призмы дают возможность иметь в инструментальной кладовой ограниченный набор таких сменных скоб. Количество сменных скоб на конкретные размеры указывается при заказе. В качестве отсчетного устройства используется отсчетно-командное устройство БВ-6060. Прибор БВ-4101 (см. табл. 1) с призмами БВ-3163 предназначен для использования при врезном шлифовании и снабжается специальным призмодержателем

БВ-3165. Прибор обеспечивает точность обработки в пределах 1—2-го классов.

Прибор БВ-4105М-1 (см. табл. 1) в отличие от прибора БВ-4101 предназначен для использования при шлифовании на проход и отличается от него только местом установки на станке и конструкцией кронштейна призмодержателя. При врезном шлифовании, когда стол станка неподвижен, в процессе работы кронштейн призмодержателя устанавливают на станине станка.

Система БВ-4105М-2 (табл. 1) быстропереналаживаемая, так как приборы этой системы снабжены сменными призмами БВ-3163, но предназначены для станков, не имеющих устройств для автоматической отводки шлифовальной бабки. Приборы этой системы комплектуют специальным электромагнитом, который при достижении заданного размера детали по команде от прибора воздействует на рукоятку быстрого отвода шлифовального круга.

Измерительная система БВ-4144 предназначена для работы при скоростном шлифовании и отличается от системы БВ-П6060 только кожухом настольной скобы, который сделан таким, чтобы лучше закрывать внутреннюю полость механизма скобы для исключения попадания в нее отходов металла и охлаждающей жидкости, которая подается с бóльшим давлением при этом виде шлифования.

Систему измерительную БВ-4185 используют при обработке деталей с прерывистой поверхностью, например при обработке шлицевых валов (рис. 9). Эта система включает 16 вариантов приборов, различающихся привязкой механической и гидравлической частей измерительной системы к различным моделям станков, по числу выдаваемых команд (2 или 4), величиной хода (60 и 100 мм) гидроцилиндров (БВ-3102), осуществляющих установку и связь измерительной скобы и обрабатываемой детали. В этой системе используется индуктивное отсчетно-командное устройство БВ-6119. Измерительная скоба БВ-3236, используемая в этой системе (рис. 9, *б*), имеет два идентичных автономных преобразователя, каждый из которых связан с измерительным рычагом. Преобразователи непосредственно встроены в скобу и состоят из ферритового якоря *1* и магнитной системы *2*. Якорь преобразователя располагается на конце двуплечего измерительного рычага *3*, подвешенного на плоских пружинах *4*. Магнитная система преобразователя установлена на планке *5* и с помощью винта *6* может смещаться для выставления зазора.

У измерительных наконечников контактная часть снабжена кристалликом алмаза. Для ограничения величины западания наконечников в разрывы детали скоба снабжена демпфирующим устройством *7*, представляющим собой неподвижный цилиндр и поршень, соединенный с рычагом. Внутренняя поверхность цилиндра заполнена демпфирующей полиэтиленоксановой жидкостью. Демпфирующее устройство также обеспечивает безотрывное слежение за размером обрабатываемой детали. Сигналы с преобразователей идут в момент опускания наконечников в разрывы деталей. В электронном блоке имеется элемент памяти, который отфильтровывает ложные сигналы, указывающие минимальные размеры.

Система измерительная БВ-4143 является специальной и состоит из нескольких измерительных приборов (рис. 10), предназначенных для использования при так называемом врезном шлифовании на станках мод. ХШ4-80. Прибор БВ-4116-3 — позиционер (*1*, *2*, *3* на рис. 10),

обеспечивает выдачу сигнала на осевую ориентацию заготовки относительно шлифовального круга. При перемещении детали она касается наконечника скобы и выдает сигнал на остановку детали. После этого скоба позиционера отходит от детали, поворачиваясь в вертикальной плоскости.

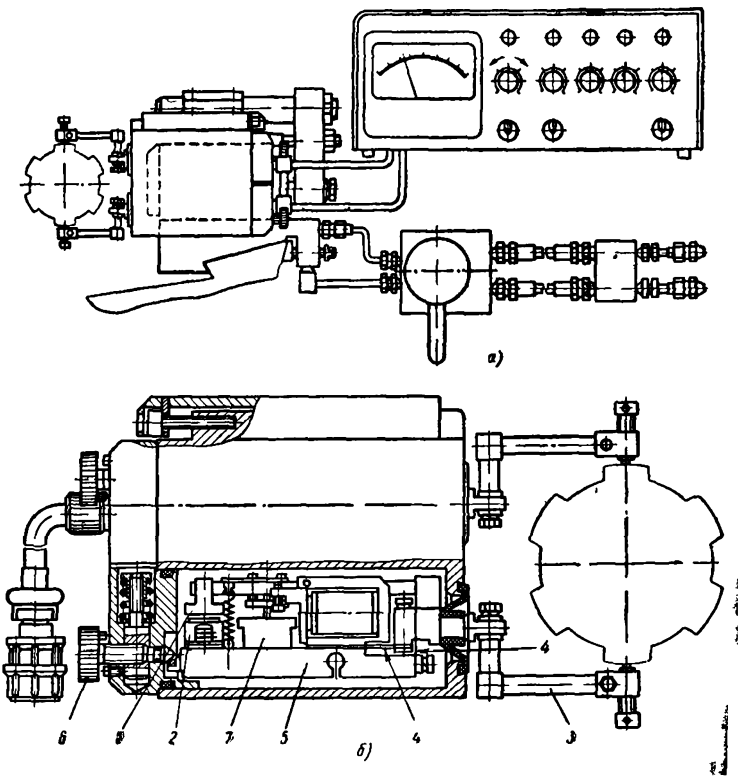


Рис. 9. Система измерительная БВ-4185:
а — общий вид; *б* — измерительная скоба

Обрабатываемая деталь измеряется с помощью двух скоб *4* и *5*. Результаты измерения передаются на отсчетно-командное устройство БВ-6053М-1, которое выдает сигнал на изменение режимов обработки и остановку станка. Одновременно сигналы от обеих скоб передаются на отсчетно-командный блок БВ-6079 для выдачи сигнала на механизм для автоматического выведения конусности, если она появится в процессе обработки.

Измерительная система БВ-4170 — узкоспециального назначения. Применяется при обработке шеек коленчатого вала на станке ШХ2-40.

В качестве основного измерительного узла в системе используется скоба БВ-3163 с отсчетно-командным устройством БВ-6060. Но, кроме этого, система содержит как бы два позиционера, с помощью которых определяется положение двух торцовых поверхностей, ограничивающих шейку коленчатого вала. По результатам положения поверхностей, определяемого позиционерами, подается команда, по которой заготовка

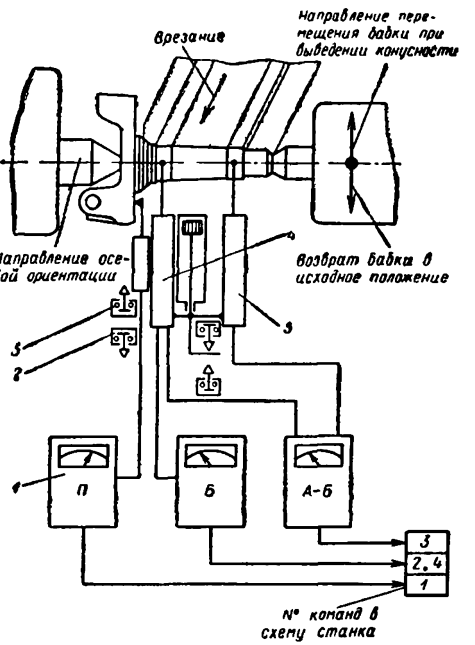


Рис. 10. Система измерительная БВ-4143

получает осевое смещение с тем, чтобы обеспечить равный припуск по каждой обрабатываемой торцовой поверхности. После этого измерительная призма подходит к шейке коленчатого вала, и производится одновременная обработка как шейки, так и обеих торцовых поверхностей. Такая система обеспечивает равномерный износ торцовых поверхностей шлифовального круга.

Средства активного контроля, используемые при обработке на внутришлифовальных станках, имеют обычно точечные измерительные наконечники. Для приборов при внутреннем шлифовании всегда требуется обеспечивать возможность контроля прерывистых поверхностей из-за необходимости вывода измерительных наконечников из детали за каждый двойной ход шлифовального круга.

Вследствие указанных особенностей необходимо делать приборы специальными, встраиваемыми в конкретные конструкции станка [1]. Инструментальная промышленность изготовляет ограниченную номенклатуру таких приборов (табл. 5) по заказам.

5. Приборы и системы для активного контроля при обработке внутренних цилиндрических поверхностей

Прибор или система	Диапазон измерения, мм	Цена деления шкалы, мм	Диапазон показаний, мм	Измерительное усилие, гс	Смещение настройки после 1500 измерений в течение 2 ч
Система измерительная активного контроля БВ-4173	10—80	0,001 и 0,005	0,08 и 0,40	100 и 200	±0,0015
Система измерительная активного контроля БВ-4194	40—250			100±25	
Прибор БВ-4190 активного контроля к станку СШ-100	6	0,001	0,120		

Примечание. Число управляемых команд 4, нестабильность срабатывания окончательной команды 0,0005 мм.

6. Модификация приборов БВ-4173

Характеристика	Модификация								
	БВ-4173.00.000	БВ-4173.00-000-01	БВ-4173-00-000-02	БВ-4173.00.000-03	БВ-4173.00.000-04	БВ-4173.00.000-05	БВ-4173.00.000.06	БВ-4173.00.000-07	БВ-4173.00.000-08
Время контакта измерительных наконечников с контролируемой поверхностью:									
0,03 с		+			+	+		+	+
0,05 с			+						
постоянное	+			+			+		
Исполнение наконечников измерительной скобы:									
для контроля диаметров отверстий:									
прямое	+	+	+						
угловое				+	+	+			
прямое для контроля осевых размеров							+	+	+
Габариты измерительной скобы (ширина×высота×длина), мм	62×135×273,5	62×135×273,5	62×135×273,5	62×135×280	62×135×280	62×135×280	62×135×250	62×135×250	62×135×250

В системе измерительной БВ-4173 (см. табл. 5) используется индуктивный преобразователь. Эта система включает девять модификаций приборов (табл. 6), составляемых из типовых деталей, в зависимости от особенностей обрабатывающего станка и вида обрабатываемой детали (прерывистая поверхность или нет).

В измерительной системе скоба (рис. 11) имеет два измерительных рычага *4* и *5*, установленных на каретках *1* и *6*, подвешенных на плоских пружинах *7*, *8*, *17*, *18*. С одной из кареток связаны катушки *2* магнито-

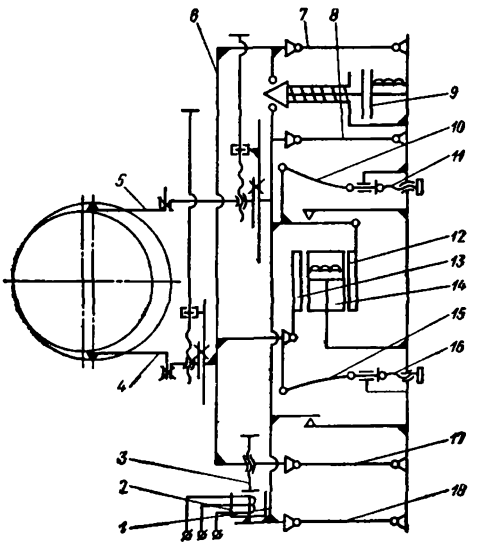


Рис. 11. Скоба к системе измерительной БВ-4173

провода индуктивного преобразователя, а с другой — якорь *3*. С этими каретками связан также механизм арретирования *9*, установленный на корпусе скобы и сводящий каретки при введении наконечников внутрь детали. На корпусе скобы также находится электромагнит *14* механизма торможения, а на каретках расположены якори *12* и *13* этого устройства.

Измерительное усилие скобы создается благодаря продольному изгибу плоских пружин *10* и *15*, деформация которых осуществляется винтами *11* и *16*. Отсчетно-командным является устройство БВ-6119.

Система измерительная БВ-4194 (табл. 5) имеет также индуктивный принцип действия. В эту систему входят две модификации приборов; в одном из них (БВ-4194-01) в измерительном устройстве предусмотрено электромагнитное затормаживание измерительных рычагов перед прекращением касания наконечников при обработке прерывистых поверхностей и при периодическом выведении наконечников из внутренней полости обрабатываемой детали за каждый двойной ход.

Прибор имеет два одинаковых по конструкции индуктивных первичных преобразователя, установленных на кронштейне.

Индуктивные первичные преобразователи (рис. 12) могут смещаться один относительно другого при настройке на размер детали в указанном диапазоне (см. табл. 5). Измерительные рычаги *1* подвешены на шарнире *3*, образованном плоскими пружинами. На одном конце рычага находится наконечник *13*, а на другом — пятка *4*, воздействующая при повороте рычага на каретку *5*, несущую якорь *6* индуктивного преобразователя. Магнитопровод и катушки *7* преобразователя закреплены неподвижно на основании измерительного устройства. Арретирование измерительных наконечников перед введением их в обрабатываемую деталь осуществляется с помощью дополнительного рычага *10* под действием пружины *8*, т. е. в свободном состоянии рычаги находятся в сведенном (арретированном) состоянии, и освобождение рычагов для измерения осуществляется под действием электромагнита *9*. Измерительное усилие на наконечнике создается пружиной *2*. Фиксирование положения измерительных рычагов для «запоминания размера» перед выходом наконечников осуществляется с помощью устройства, состоящего из электромагнита *11* и якоря *12*, установленных на измерительном рычаге. Управляющий сигнал на электромагнит поступает от конечного выключателя системы в зависимости от положения измерительного устройства относительно обрабатываемой детали. Якорь *12* подвешен к измерительному рычагу на плоскопружинном шарнире и при подаче напряжения в электромагнит притягивается, фиксируя положение рычага. Торможение осуществляется в момент, *предшествующий потере контакта наконечника с контролируемой поверхностью*.

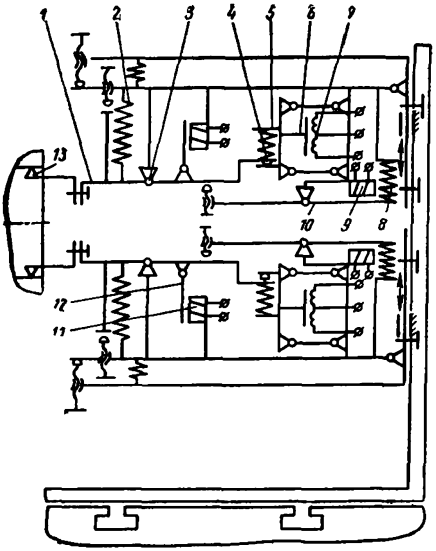


Рис. 12. Скоба к системе измерительной БВ-4194

Прибор БВ-4190 (см. табл. 5) специального назначения — только для станка СШ-100. Особенность конструкции этого устройства связана с обеспечением измерения при обработке деталей малых размеров. Прибор (рис. 13) состоит из измерительного устройства *1*, отсчетно-командного устройства *2* и конечных выключателей *4*. Основная отличительная особенность этого прибора — оригинальная конструкция пневматической пробки в измерительном устройстве: сечение пробки сделано серпообразным для того, чтобы она смогла обойти шлифовальный круг и находиться с ним в одном сечении обрабатываемой детали. В этой пробке, состоящей из спаянных тонкостенных стакана и фланца, имеются три сопла. Два из них *5*, расположенных через 180°, явля-

ются измерительными соплами пневматической измерительной системы, а одно сопло, расположенное сбоку, предназначено для подачи охлаждающей жидкости в зону резания. В приборе использовано отсчетно-командное устройство БВ-6060-4К-Ш-1, в которое встроен специальный клапан *3*, прекращающий подачу воздуха в сильфоны отсчетно-командного устройства в тот момент, когда пробка находится вне обрабатываемой детали. Благодаря этому обеспечивается быстродействие измерительной системы. Управление этим клапаном осуществляется от ко-

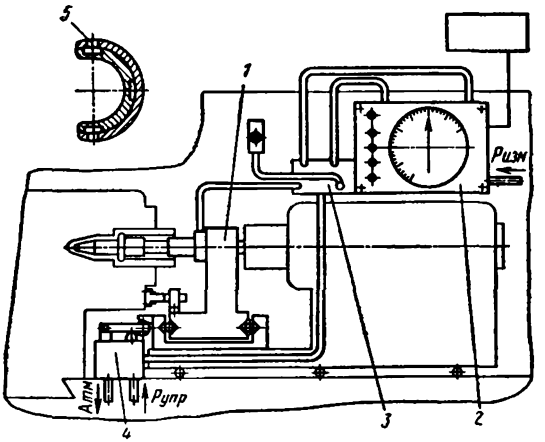


Рис. 13. Прибор БВ-4190 к станкам СШ-100

нечного выключателя *4*, который срабатывает при каждом двойном ходе от закрепленного на столе упора.

Приборы для активного контроля при обработке на плоскошлифовальных станках. При обработке на этих станках базой является поверхность стола или магнитной плиты, вследствие чего невозможно использовать схему измерения с двумя наконечниками, как это имеет место при обработке на круглошлифовальных станках. Но поскольку крепление измерительной части прибора производится на станине станка, а наконечник касается детали, расположенной на столе, то на погрешность измерения в значительной мере оказывают влияние тепловые и силовые деформации станка и зазоры между отдельными элементами, входящими в измерительную размерную цепь. Для устранения этого недостатка иногда кронштейны прибора устанавливают на стол или одновременно измеряют размер детали и положение плоскости стола [1, 2].

Другая особенность обработки на плоскошлифовальных станках заключается в том, что приходится всегда иметь дело с измерением деталей с прерывистыми поверхностями. Поэтому необходимо всеми приборами контролировать прерывистые поверхности для исключения выдачи ложной команды и дрожания стрелки показывающего устройства. Для решения этой задачи используют различные принципы [1, 2]: с задержкой измерительного наконечника, задержкой сигнала и т. д.

В табл. 7 приведены измерительные средства, выпускаемые инструментальной промышленностью.

Для приборов этого вида в основном характерно использование пневматических принципов действия, и в этом случае инерционные свойства пневматических устройств облегчают решение задачи контроля при обработке прерывистых поверхностей

Система измерительная БВ-4111К включает в себя 12 приборов, различающихся видом отсчетно-командного устройства (БВ-4111К-2 имеет только отсчетное устройство без выдачи команд), ценой деления этого устройства (0,001 и 0,002 мм) и кронштейнами для установки измерительного устройства на станок (к станкам 3П722; 3Д756 и 3П740 кронштейны соответственно БВ-3147, БВ-3178 и БВ-3170). Из 12 приборов шесть имеют только визуальное отсчетное устройство для использования без автоматического цикла и шесть приборов — с выдачей команд. Во всех этих приборах в качестве отсчетного или отсчетно-командного устройства используется прибор БВ-6060 щитового исполнения

Измерительное устройство БВ-4066-01, одинаковое для всех вариантов приборов, располагается (рис. 14) над столом станка с помощью кронштейна. Рычаг *1* его контактирует с обрабатываемыми деталями роликом *6* из твердого сплава, расположенным на конце. Другой конец измерительного рычага является заслонкой сопла *2*. Верхний конец рычага *1* имеет стержень *4*, оканчивающийся плоской пружиной, за которую этот рычаг удерживается с помощью тормозного устройства *5*. Ролик *6* рычага *1* контактирует с обрабатываемой поверхностью периодически. Для этого с командоаппарата *7* через клапан *8* включается арретир *3* и тормозное устройство *5*, освобождающее рычаг *1* на короткое время. После этого рычаг снова фиксируется тормозом. Если рычаг оказался между деталями, то под действием детали он поднимается до уровня обрабатываемой поверхности.

С помощью командоаппарата *7* включается клапан *9*, соединяющий измерительное сопло *2* с отсчетно-командным устройством. Вал с кулачками командоаппарата вращается с постоянной частотой вращения (4 или 7,5 об/мин); за каждый оборот освобождается на короткое время рычаг и подключается измерительное сопло к отсчетно-командному устройству. Приборы этой серии могут работать на плоскошлифовальных станках с прямоугольным и круглым столом.

Система измерительная БВ-4066К, включающая в себя два прибора, имеет такое же измерительное устройство, как в приборах системы БВ-4111К и отсчетно-командное устройство БВ-6060 нещитового исполнения на две команды. Эти приборы отличаются от приборов БВ-4111К также кронштейнами для установки измерительного устройства: к станку 3722 — кронштейн БВ-1005-01-000; к станку 3А740 — кронштейн БВ-4066-05-300.

Система измерительная БВ-4102 разработана для станка 3П722-2 в двух исполнениях: к станку с двумя шлифовальными бабками и к станку с одной шлифовальной бабкой (к станку с двумя бабками поставляются два прибора). Однако система БВ-4102 может быть установлена на других станках с соответствующими кронштейнами. В принципе эту систему следует отнести к подналадчикам, поскольку ее назначение — следить за износом шлифовального круга по размеру обрабатываемых деталей на станках непрерывного действия. Измерительное устройство (рис. 15) этого прибора — электроконтактный датчик с одним контак-

Прибор или система	Модель	Диапазон измерений, мм	Число управляемых команд	Цена деления шкалы, мм	Диапазон показаний, мм	Измерительное усилие, гс	Нестабильность срабатывания окончательной команды, мм	Примечание
Система измерительная активного контроля для деталей с гладкими и прерывистыми поверхностями	БВ-4111К-1	С круглым столом — 200, с прямоугольным — 320	3	0,001 или 0,002	0,12 или 0,24	800	0,002	ГОСТ 9376—74
	БВ-4111К-2		—					
	БВ-4066К	К станкам 3722 и 3Б722—400, к станку 3А740—80	2	0,002	0,24	630±100		ТУ 2-034-466—74
Система измерительная активного контроля (подналадчик к станкам непрерывного действия)	БВ-4102	150 (по высоте)	1	—	—	800	0,001	ТУ 2-034-482—75 по заказам
Прибор активного контроля при силовом шлифовании	БВ-4141	400	5	0,002 и 0,01	0,24 и 10,0	800±50	0,002	СПТУ-4141

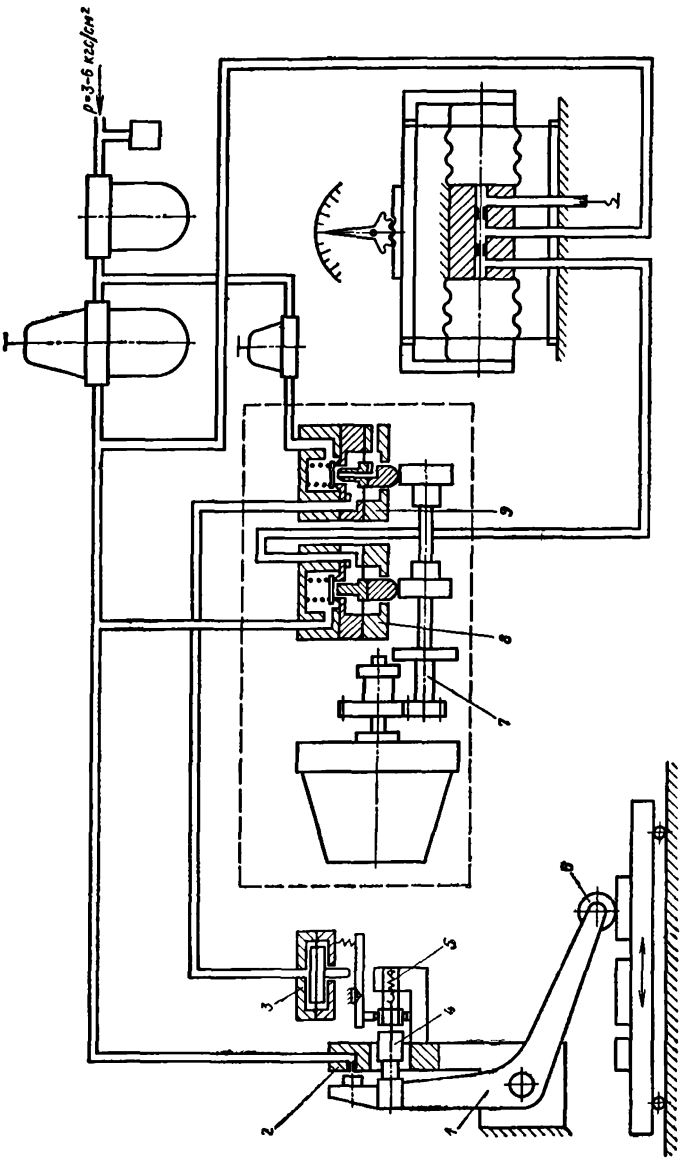


Рис. 14. Измерительная система БВ-4111К с измерительным устройством БВ-4068-01

том. В корпусе *6* располагается рычаг *5*, установленный на оси *4* с помощью шариковых подшипников *3*. На одном конце рычага закреплен хомут *2* вместе с измерительным наконечником *1*. На другом конце рычага *5* находится электрический подвижный контакт *9*, поджимаемый с помощью пружины *7* к неподвижному электрическому контакту *8*. В процессе работы электрические контакты замкнуты, и наконечник не касается обрабатываемой детали. Как только шлифовальный круг изнашивается на такую величину, что размеры деталей начинают приближаться к границе допуска, соответствующей наибольшему размеру, наконечник касается детали, электрические контакты размыкаются, и выдается сигнал.

Прибор БВ-4141 предназначен для использования на станках с круглым столом при обработке гладких и прерывистых поверхностей при так называемом силовом шлифовании. Эти приборы применяют при припусках на обработку до 10 мм и скорости перемещения обрабатываемых деталей от 1 до 100 м/мин.

Измерительное устройство прибора (рис. 16) имеет рычаг *5* с измерительным наконечником *1* из твердого сплава. Под рычагом расположены два измерительных сопла *2* и *3*, для которых рычаг является заслонкой. Два измерительных сопла необходимы для того, чтобы обеспечить прибор двумя отсчетно-командными устройствами с ценой деления 0,01 и 0,002 мм для охвата всего предела измерения. Измерительная цепь устройства с ценой деления 0,01 мм включает в себя измерительное сопло *3*, входное сопло *15*, отсчетно-командное устройство БВ-6060Ш-2К *16* и блокировочный клапан *14*. Измерительная цепь с ценой деления 0,002 мм состоит из измерительного сопла *2*, входного сопла *12*, отсчетно-командного устройства БВ-6006-Ш-4К *13* и блокировочного клапана *9*.

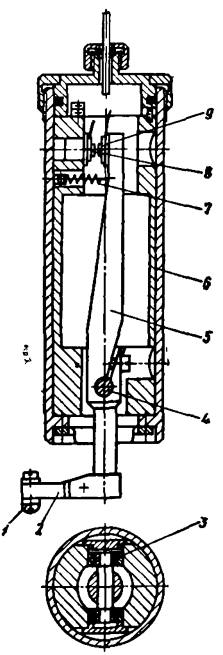


Рис. 15. Измерительное устройство к прибору БВ-4102

Наконечник измерительного рычага периодически опускается на деталь по команде от командоаппарата *7*. Измерительный рычаг удерживается с помощью фрикционного тормоза *11*, который освобождает рычаг от арретирующего устройства *8* по сигналу командоаппарата. Освобождаясь, рычаг под действием пружины *10* опускается на деталь и опять фиксируется тормозом *11*. Только после контакта наконечника рычага с деталью командоаппарат подключает измерительные сопла к своим отсчетно-командным устройствам. Благодаря тому, что сопло подсоединяется на короткое время к своему отсчетному устройству, исключаются дрожание стрелки и ложная команда при обработке прерывистых поверхностей. Исходное положение рычага восстанавливается с помощью пневматического арретирующего устройства *4*. Второй конец измерительного рычага связан с гидравлическим демпфером *6*, представляющим собой поршень, перемещающийся в цилиндре, заполненном демпфирующей жидкостью.

Этот демпфер также способствует тому, что рычаг не прыгает при обработке прерывистых поверхностей.

Преимущества приборов активного контроля и перспективы их развития. Применение приборов активного контроля позволяет: 1) повысить производительность обработки без снижения качества благодаря сокращению вспомогательного времени на остановку станка для измерения детали и возможности многостаночного обслуживания;

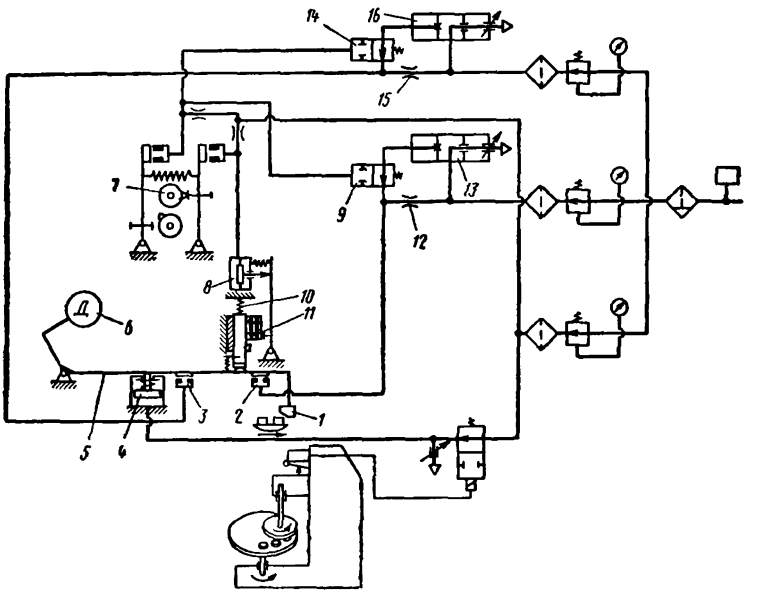


Рис. 16. Прибор БВ-4141

2) повысить качество изделий благодаря автоматическому поддержанию заданных режимов обработки; 3) облегчить труд станочника, обеспечивая безопасные условия работы; 4) производить работу на шлифовальных станках операторам невысокой квалификации без снижения качества изделия.

Наибольший эффект дают эти приборы, если станок имеет устройство для автоматической подачи. При изготовлении деталей 2-го и точнее классов (допуск 0,003—0,01 мм) приборы активного контроля наиболее полно показывают свое преимущество.

Основная область применения приборов активного контроля — массовое и серийное производство, но опыт показал, что при партиях деталей в 10 шт. при указанных выше требованиях к точности детали целесообразно применять приборы активного контроля.

Анализ патентных материалов [8] показывает, что при создании приборов активного контроля в основном применяют индуктивные принципы действия, а удельный вес пневматических приборов снижается.

Создание приборов для абсолютных измерений успешно решается с использованием в качестве преобразователя линейной шкалы с фотоэлектрическим отсчетным устройством или индуктосинов.

КОНТРОЛЬНЫЕ АВТОМАТЫ

Контрольные автоматы часто называют автоматическими приборами для пассивного контроля, поскольку большинство этих автоматических устройств контролирует деталь после окончания ее обработки.

В зависимости от количества групп, на которые разделяются контролируемые детали, различают автоматы двух видов.

Автоматы первого вида выделяют одну группу годных деталей, размеры которых находятся внутри допуска, и одну или две группы бракованных деталей (брак исправимый и неисправимый). Цель их использования — приемка готовой продукции. Эту группу автоматов можно отнести к пассивным, и их применение должно быть весьма ограниченным, поскольку это часто оказывается экономически нецелесообразным и технически необоснованным. Рационально построенный технологический процесс должен обеспечивать выпуск безусловно годной продукции, и при налаженном технологическом процессе нет необходимости в контроле всех изготовленных деталей, а достаточен выборочный контроль, т. е. периодическая проверка действительных значений размеров обрабатываемых деталей. Необходимость в 100%-ном контроле продукции возникает чаще всего при неотлаженности технологического процесса или его несоответствии точности детали. В этом случае надо решать вопрос о целесообразности затрат на налаживание технологического процесса вместо затрат на использование и создание автомата первого вида.

Применение автоматов первого вида оправдано экономически и целесообразно технически в следующих случаях:

1) при недостаточной точности технологического процесса, которая находится на уровне требуемой точности обработки детали (нет запаса точности, гарантирующего изготовление деталей в пределах допуска);

2) при неустойчивом технологическом процессе, который практически не поддается регулировке (например, получение деталей методом спекания), и при котором возникает необходимость из всей массы изготовленных деталей отобрать годные;

3) при изготовлении изделий, состоящих из нескольких деталей, когда неудачное сочетание размеров этих деталей может привести к выходу одного из суммарных показателей за границы допуска, а устанавливать жесткие допуски на все детали во избежание неблагоприятных сочетаний экономически нецелесообразно (например, контроль собранных подшипников по радиальному и торцовому биению);

4) при изготовлении деталей, отклонения размеров которых за допускаемые пределы могут привести к аварии или несчастным случаям; при этом контроль производят по пределам, уменьшенным по сравнению с допускаемыми с учетом погрешности измерения;

5) при измерении деталей сложной формы, у которых эксплуатационный показатель определяется комплексом взаимосвязанных параметров, получаемых на разных этапах технологического процесса (например, комплексный контроль зубчатых колес при автоматическом производстве);

6) при использовании автомата для блокировки технологического оборудования от возможных поломок при попадании деталей с определенными *отклонениями*;

7) при использовании контрольного автомата в качестве подналадчика, т. е. для воздействия по результатам измерения на технологический процесс; в этом случае контрольный автомат можно отнести к приборам активного контроля — подналадчикам, однако по составу функциональных элементов, из которых он составлен, — это типичный контрольный автомат первого вида с несколько расширенными функциями.

Рассмотренные единичные случаи оправданного применения автоматов первой группы являются исчерпывающими. Поэтому каждый раз, когда возникает необходимость в применении этих автоматов, необходимо в первую очередь оценить экономический эффект от разработки, изготовления и эксплуатации и привести техническое обоснование по его применению. В большинстве случаев оказывается, что более эффективными являются затраты на повышение точности технологического процесса и разработку организационно-технических форм контроля вместо создания контрольного автомата. Во многих случаях автоматы этого вида целесообразнее заменять контрольными приспособлениями без потери качества, но с большей эффективностью.

Автоматы второго вида разделяют годные детали на несколько размерных групп в пределах допуска для использования в дальнейшем при селективной сборке. Эти автоматы являются не столько контрольным, сколько технологическим оборудованием, поскольку они призваны облегчить процесс точного изготовления, заменив его точностью измерения. Их следует применять тогда, когда целесообразно применять селективную сборку.

Конструкции контрольных автоматов. Автоматы обычно разрабатывают применительно к виду и типоразмеру детали. В автоматах в основном используют электроконтактные, пневмоконтактные и фотоэлектрические преобразователи (табл. 8), значительно реже — индуктивные системы.

В последние годы завод «Калибр» освоил разработанное Бюро взаимозаменяемости Минстанкопрома индуктивное командное устройство 275, которое используется совместно с индуктивными системами 207, 212, 214, 215, 216 и 217, выпускаемыми заводом. Эти системы имеют различную цену делений или дискретность отсчета — от 0,05 до 0,00001 мм. Устройство 275 представляет собой приставку к указанным индуктивным системам и позволяет производить разделение контролируемых деталей на 13 групп. Количество групп выбрано таким потому, что часто выделяют 10 групп годных деталей, две группы бракованных и одну группу деталей с большим отклонением размеров

Многие автоматы второй группы оснащены фотоэлектрическими преобразователями ПФС, в которых преобразователем линейных перемещений является пружинный механизм микрокатора и оптический рычаг.

В автоматах первой и второй групп используются пневмоэлектроконтактные преобразователи с двумя и шестью группами рассортировки, в том числе и для амплитудных измерений. Цена деления отсчетных устройств 0,0002 и 0,002 мм. В этих преобразователях чувствительными элементами являются сильфоны, а конструктивно они весьма близки к отсчетно-командному устройству БВ-П6060, используемому в *приборах для активного контроля* (см. рис. 2).

8. Первичные преобразователи (датчики), используемые в контрольных автоматах

Наименование	Модель	Диапазон измерений или показаний, мм	Цена деления настроечного винта или шкалы, мм	Число групп сортировки	Нестабильность срабатывания, мм	Смещение настройки за 25 000 измерений (не более), мм	Измерительное усилие, гс	ГОСТ или ТУ
Преобразователи (датчики) электроконтактные двухпредельные *1:								
без отсчетного устройства	228-2	0—1	0,002	3	0,001	±0,001	300	ГОСТ 3899—68
с отсчетным устройством 1МИГ	228-5							
с отсчетным устройством 1ИГ	228-6							
Преобразователи (датчики) электроконтактные трехпредельные с верхним расположением среднего контакта *1:							500	ТУ 2-034-42—74
без отсчетного устройства	229-2			4			200	
с отсчетным устройством 1МИГ	229-5						150	
с отсчетным устройством 1ИГ	229-6							
Преобразователи (датчики) электроконтактные для контроля линейных размеров, двухпредельные *1	233	0—0,4	0,001	3	0,005	±0,001	80	ГОСТ 5651—76

Продолжение табл. 8

Наименование	Модель	Диапазон измерений или показаний, мм	Цена деления настроечного винта или шкалы, мм	Число групп сортировки	Нестабильность срабатывания, мм	Смещение настройки за 25 000 измерений (не более), мм	Измерительное усилие, гс	ГОСТ или ТУ
Преобразователи (датчики) электроконтактные амплитудные *1.								
без отсчетного устройства	248-2	0—0,2	0,002	2	0,001	±0,001	300	ГОСТ 3899—68
с отсчетным устройством 1МИГ	248-5						200	
с отсчетным устройством 1ИГ	248-6						150	
Головки измерительные рычажно-зубчатые с электроконтактами *2	2-ЭКШМ	0,5	0,01	3	—	0,002	300	—
Головка измерительная рычажно-зубчатая с электроконтактами *2,7	ЭГР	0,1	0,001	3		±0,0005	200	ГОСТ 11703—66 *
Преобразователи фотоэлектрические сортировочные *3	ПФС05	0,025	0,0005	10; 20; 30; 40; 50	0,00012	±0,00015		ГОСТ 5.1176—71
	ПФС1	0,05	0,001		0,00025	±0,0003		
	ПФС2	0,01	0,002		0,0005	±0,0006		
	ПФС5	0,25	0,005		0,0012	±0,0015	300	
Преобразователи пневмоэлектроконтактные с сильфонами *1								
нормальной жесткости П1	235-1	0,016—0,16	0,0002—0 002	7	0,0004	±0,0004	—	ГОСТ 21016—75
повышенной жесткости П2	235-2				0,0006	±0,0006		

Продолжение табл 8

Наименование	Модель	Диапазон измерений или показаний, мм	Цена деления настроечного винта или шкалы, мм	Число групп сортировки	Нестабильность срабатывания, мм	Смещение настройки за 25 000 измерений (не более), мм	Измерительное усилие, гс	ГОСТ или ТУ
Преобразователи пневмоэлектроконтактные двухпредельные и амплитудные с сильфонами *1.								
нормальной жесткости П1	236-1				0,0004	+0,0004	—	ГОСТ 21016—75
повышенной жесткости П2	236-2		0,0002—0,002		0,0006	+0,0006	—	
Преобразователи пневмоэлектроконтактные с сильфонами *1.								
нормальной жесткости П1	249-1	0,016—0,16		3	0,0004	±0,0004	—	
повышенной жесткости П2	249-2				0,0006	±0,0006	—	
Преобразователи пневмоэлектроконтактные повышенной точности *1	343	0,008—0,016	0,0001—0,002		0,0001	±0,0001	—	ТУ 2034—74—70
Преобразователи пневмоэлектроконтактные с регулируемой чувствительностью *1	344	0,016—0,16	0,0002—0,002		0,0005	±0,0005	—	

*1 Изготовитель — завод «Калибр»
*2 Изготовитель — завод «Красный инструментальщик» (г. Киров).
*3 Изготовитель — Ленинградский инструментальный завод

Во многих контрольных автоматах применяют электроконтактные преобразователи, которые обладают относительно простой конструкцией и надежностью в работе [6].

К электроконтактным и пневмоконтактным преобразователям относятся амплитудные преобразователи, предназначенные для контроля колебаний размера детали, т. е. погрешности ее формы. Номенклатура таких датчиков незначительна, и их целесообразно использовать только в случаях контроля изделия, где колебание размера (например, радиальное и торцовое биения подшипников) является эксплуатационным показателем. Автоматический контроль погрешности формы деталей следует производить крайне редко, поскольку погрешность формы характеризует прежде всего состояние оборудования, и целесообразнее наладить технологический процесс вместо автоматического контроля по этому параметру.

КОНТРОЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Принципиальное отличие контрольных приспособлений от контрольных автоматов заключается в различной степени их автоматизации.

Контрольные приспособления разрабатывают и изготовляют только под конкретный вид детали и оснащают показывающими или отсчетно-командными устройствами.

Контрольные приспособления в основном используют непосредственно на рабочих местах при наладке технологического процесса и выборочной проверке состояния точности этого процесса. Они могут быть использованы и работниками ОТК. Примером широкого использования контрольных приспособлений являются подшипниковые и автомобильные заводы [4, 5].

В автомобильной промышленности используется большая номенклатура отсчетных устройств. В последние годы широкое распространение получают пневматические отсчетные устройства высокого и низкого давления.

В отечественной промышленности, кроме подшипниковой и автомобильной промышленности, контрольные приспособления еще не получили широкого распространения, хотя они экономически и технически целесообразны для применения во многих случаях взамен контрольных автоматов и калибров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Активный контроль в машиностроении. Справочное пособие. Под ред. Е. И Педь М., «Машиностроение», 1971 360 с. Авт.: Е. И Педь, А. В. Высоцкий, В. М Машинистов и др

2. Активный контроль размеров деталей с прерывистыми поверхностями. М., «Машиностроение», 1969 136 с. Авт.: А. В Высоцкий, Б М Куперман, М. П. Соболев, М И Этингоф

3 Волосов С. С., Педь Е. И. Приборы для автоматического контроля в машиностроении М , изд Стандартов, 1975. 336 с.

4. Контрольно-измерительные автоматы и приборы для автоматических линий. М., Машгиз, 1965 372 с Авт М И. Коченов, Э. Л Абрамзон, А. С Гликин и др

5. Контрольные приспособления. М., Машгиз, 1960. 339 с. Авт.: Б. А. Гипп, Ю. М. Гоникберг, М. М. Каплун и др.

6. **Марков Н. Н., Машинистов В. М., Этингоф М. И.** Электроконтактные датчики для линейных измерений. М., «Машиностроение», 1969. 243 с.

7. **Марков Н. Н.** Перспективы использования ЭВМ при линейно-угловых измерениях. — «Измерительная техника», № 6, 1975, 16—18 с.

8. **Палкин В. А., Этингоф М. И.** Приборы активного контроля в станкостроении М., НИИМАШ, 1975. 86 с.

9 **Пневматические измерения линейных размеров.** М., Машгиз, 1963. 265 с. Авт.: А В Высоцкий, А. П. Курочкин, А Б. Линд, Ф. В. Цидулко.

10. **Средства линейных измерений в зарубежном машиностроении.** Обзорная информация. Сост. М И. Меклер. М., Изд-во стандартов, 1974. 76 с

11. **Технологическое обеспечение качества продукции в машиностроении.** Активный контроль. М., «Машиностроение», 1975. 278 с. Авт.: Г. Д. Бурдун, С. С. Волосов, Н. Н. Марков и др.

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Глава 12

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Автоматизированный станок характеризуется технологическим процессом обработки, который осуществляется заданными движениями рабочих органов в определенной последовательности, а также системой автоматизации, выполняющей элементы цикла, принятого для изготовления детали или для автоматизированной сборки узла или машины.

Если машина предназначена для производства определенной детали в массовом количестве, конструкция ее должна быть приспособлена для оптимального изготовления именно этой детали.

Изготовление на автомате деталей разных размеров заставляет предусмотреть возможность настройки станка соответственно размерам детали и рациональному технологическому процессу.

Назначение автомата или полуавтомата является одним из основных факторов, определяющих его технологические и конструктивные характеристики [2, 5].

При обработке деталей на автоматизированных станках применяют различные методы. В основном эти методы основаны на принципе копирования и могут быть классифицированы следующим образом [1].

Копирование профиля направляющих, *по которым перемещаются* узлы, несущие инструменты или деталь, применяют для получения плоских, цилиндрических, конических, сферических и других поверхностей. Форма обработанной поверхности не зависит от абсолютной и относительной скоростей перемещения инструмента и обрабатываемой детали.

Копирование профиля инструмента широко используют для получения деталей сложной формы. Перемещение инструмента относительно детали происходит только по одной координате.

Копирование кинематическое применяют для получения винтовых, спиральных, эвольвентных и других поверхностей. Необходима кинематическая настройка для установления жесткой связи между движениями инструмента и детали.

Копирование по шаблону (модели) используют для получения фасонных поверхностей, а также для обработки ступенчатых цилиндрических деталей и изделий сложной формы. Копирование по шаблону — это «слежение» движения инструмента за профилем или формой шаблона или модели. Точность заданной формы зависит от скорости рабочего движения и точности следящей системы.

Копирование по программе принципиально не отличается от копирования по шаблону, которое в этом случае заменяется программой относительных движений инструмента и обрабатываемого изделия, задаваемой в числовом или другом выражении. Точность обработки также зависит от скорости рабочих движений и от быстроты срабатывания системы управления.

Обозначения (шифр) состоят из трех—пяти знаков: 1-й — группа, 2-й — тип, 3 и 4-й — размер обработки, буква — новое исполнение. На примере токарного автомата рассмотрим, как классифицируют станки и выбирают кодированный шифр. Например, шифр 1Б125 означает: 1 — токарный станок; Б — модернизация; 1 — одношпиндельный автомат; 25 — максимальный диаметр обрабатываемого прутка, мм.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Основой при конструировании автоматизированных станков являются технологические схемы, приведенные на стр. 18.

Штучная производительность (шт/ч) автоматизированного станка определяется по формуле $Q = \frac{60}{t_к}$; здесь $t_к$ — калькуляционное время обработки, мин; $t_к = t_{шт} + \frac{t_{п.з}}{n}$, где $t_{п.з}$ — подготовительно-заключительное время, n — число деталей в партии.

Штучное время, мин

$$t_{шт} = t_о + t_в + t_{т.об} + t_{о.об} + t_ф,$$

где $t_о$ — основное технологическое время, мин; $t_в$ — вспомогательное время, мин; $t_{т.об}$, $t_{о.об}$ — соответственно время технического и организационного обслуживания, мин; $t_ф$ — время на физические потребности рабочего, мин.

Теоретическая производительность (шт/ч) $Q_т = \frac{60}{T_ц}$, где $T_ц$ — продолжительность цикла, мин.

Фактическая производительность $Q_ф = Q_т \eta_э$, где $\eta_э = 0{,}8 \div 0{,}9$ — эксплуатационный коэффициент, зависит от сложности наладки и количества инструментов.

Методы повышения. Из формулы теоретической производительности видно, что для повышения ее необходимо уменьшать $T_ц$, т. е. уменьшать $t_о$ и $t_в$, а также максимально увеличивать эксплуатационный коэффициент $\eta_э$. Основное технологическое время можно уменьшить путем концентрации операций, совмещения их и охлаждения (табл. 1), выбором оптимальных режимов резания. Затраты на $t_в$ снижают совмещением отдельных операций, увеличением скорости вспомогательных перемещений. Уменьшения $t_{т.об}$ достигают уменьшением продолжительности подналадки (ее планированием, бесподналадочными настройками и инструментами), а также автоматическим (активным) контролем.

Снижение продолжительности $t_{п.з}$ может быть получено в первую очередь путем уменьшения внецикловых потерь. На рис. 1 и 2 приведены диаграммы для определения n и номограмма для определения основного технологического времени $t_о$ на 10 мм длины обработки.

1. Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) *

СОЖ	ГОСТ или ТУ	Примечание
Сульфофрезол МР1	ГОСТ 122—54 ТУ 38-10-247—73	Вызывает коррозию цветных металлов Эффективно при обработке углеродистых и легированных сталей на повышенных режимах
ОСМ-3	ТУ 38 УССР 2.01.152.73	То же, на легких и средних режимах
ЭТ3	ТУ 38-1-228—69	Эмульсол с более стабильными свойствами, чем Э1, Э2, Э3
РЗСОЖ 8	ТУ 38	Эмульсол для обработки резанием титановых сплавов
«Украина 1»	ТУ 38-10-197—72	Эмульсол высокого эксплуатационного антикоррозийного класса

* Технология металлообрабатывающего производства. Современные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием. Обзор В. Г. Горибова. М., НИИМаш, С-х-4, 1975, 70 с.

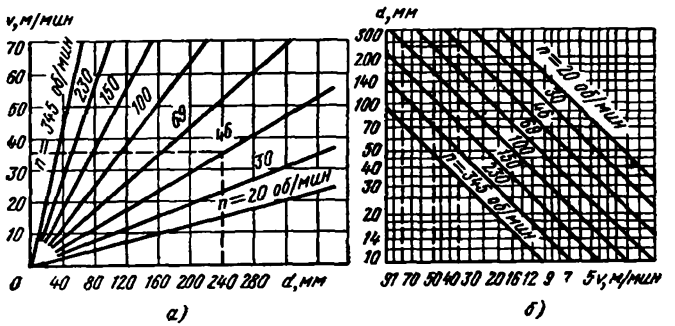


Рис. 1. Диаграммы для определения частоты вращения шпинделя:
а — лучевая; *б* — логарифмическая; *d* — диаметр обработки; *v* — скорость резания; *n* — частота вращения

В автоматизированных станках и особенно в линиях должен быть предусмотрен отвод стружки из рабочего пространства. Неудовлетворительный отвод стружки приводит к необходимости применения ручного обслуживания.

Для отвода стружки необходимо в первую очередь применять режущий инструмент, дробящий стружку. В последнее время для измельчения снимаемой при точении стружки применяют вибрационный (кинематический) метод, который заключается в колебательных движениях резца. Для дробления стружки при точении и сверлении прибегают к периодическому прекращению подачи резца или сверла или к изменению величины их подачи с целью отрыва стружки.

Для удаления стружки в автоматах и автоматизированных линиях применяют конвейеры (РМ 4943—63), реже скребковые транспортеры, которые предназначены для отвода элементообразной стальной, алюминиевой и чугунной стружки. При частоте вращения ведущей звездочки 10 об/мин и шаге скребков 400 мм производительность транспортера 0,3 м³/ч.

Более надежные из механических транспортеров — шнековые. Они быстрее отводят стружку и не так чувствительны к ее застреванию. Транспортеры выполняют одно- и двухшнековыми. Они предназначены для отвода витой и элементообразной стальной и алюминиевой стружки. Диаметр шнеков 100—250 мм; общая длина 25—50 м для одношнековых

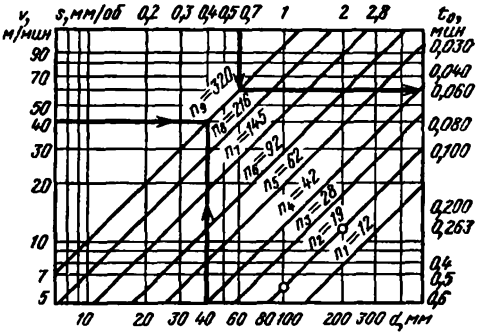


Рис. 2. Номограмма для определения t_0

и 40—50 м для двухшнековых транспортеров. Производительность их существенно зависит от диаметра и числа шнеков. Так, при частоте вращения шнеков 10 об/мин производительность транспортера для витой стружки: одношнекового 1—9 м³/ч (для D = 100 — 260 мм), двухшнекового 7,5—14 м³/ч (для D = 200 — 250 мм).

ИСПЫТАНИЯ И КОНТРОЛЬ

Испытания станков подразделяют на производственные (приемочные) и лабораторные [1]. Для проверки качества все станки подвергают производственным испытаниям. Производственные испытания обязательны; результаты их заносят в протоколы, которые прилагают к станку совместно с паспортом и инструкцией по наладке.

Производственные испытания должны быть максимально простыми, давать гарантию полного соответствия изготовленного станка утвержденным техническим условиям (ГОСТ 7599—73).

Анализ технических характеристик вновь изготовленного станка требует использования данных по наиболее прогрессивным моделям отечественного и зарубежного производства (аналогам), материалов передового опыта промышленности, а также учета перспектив дальнейшего развития автоматов или полуавтоматов данного типа. Наиболее целесообразным является обработка этих данных в виде графиков или сводных таблиц.

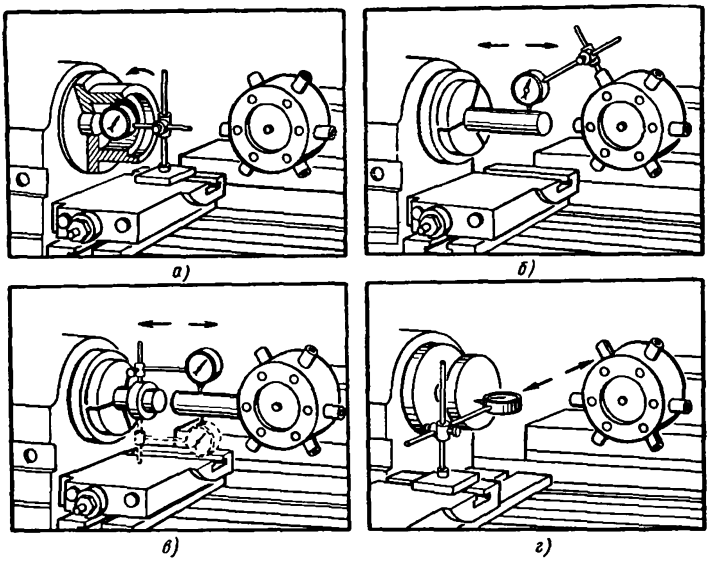


Рис. 3. Пример проверки токарно-револьверного автомата на геометрическую точность:

а — радиальное биение передней посадочной поверхности в шпинделе под гильзу для зажима цанги; *б* — параллельность оси шпинделя направлению движения револьверного суппорта в вертикальной плоскости; *в* — совпадение осей отверстий для инструментов в револьверной головке с осью вращения шпинделя, *г* — перпендикулярность направления движения поперечного суппорта к оси шпинделя

Испытание станка на холостом ходу состоит в измерении мощности на холостом ходу, определении КПД, а также в проверке правильности и безотказности работы отдельных механизмов и узлов.

Мощность станка на холостом ходу измеряют после 30-минутной его обкатки на разных ступенях частоты вращения шпинделя. На каждой выбранной ступени достаточно дать станку работать 10—20 мин, а при n_{max} — 60 мин.

КПД главного привода определяют по приближенной формуле $\eta = \frac{N - N_x}{N}$, где N и N_x—соответственно мощность во время работы и на холостом ходу. Потребляемую мощность холостого хода станка измеряют при различных ступенях частоты вращения шпинделя.

В гидравлических станках измеряют также мощность, потребляемую электродвигателем гидравлической системы. Измерения производят для положения «Стоп», быстрого подвода, минимальной и максимальной подач, «на упоре». Проверяют также правильность взаимодействия всех механических устройств.

Геометрическую точность автоматических станков проверяют при ручном перемещении отдельных узлов (в нерабочем состоянии станка). Проверка заключается в контроле взаимного расположения основных

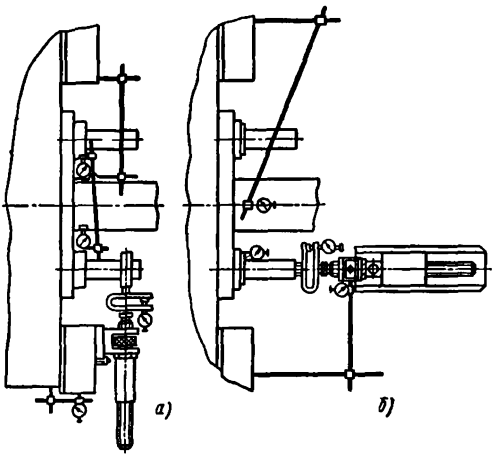


Рис. 4. Схема испытания узлов станка на жесткость:

а — радиальное нагружение; *б* — осевое нагружение

деталей и узлов: станин, колонн, столов, суппортов, шпинделей и пр. Цель проверки геометрической точности — выявление фактических отклонений от прямолинейности, плоскостности, цилиндричности, параллельности, перпендикулярности и т. д. [2, 3, 5]. Проверка на геометрическую точность показана на примере токарно-револьверного автомата (рис. 3).

Испытание станка на жесткость проводят в соответствии с общими положениями, указанными в ГОСТах. Под жесткостью понимают способность детали, узла или станка сопротивляться действию нагрузок, при этом деформации и отжатия остаются в оговоренных пределах. От жесткости шпинделя, суппортов, а также всего станка зависит точность обработки деталей. Жесткость позволяет судить о качестве изготовления и сборки самих станков. Испытания на жесткость дают возможность выявить меры, которые могут повысить жесткость.

Практически испытание на жесткость выполняют следующим образом (рис. 4). Испытуемый узел нагружают давлением (прилагают силу) и измеряют отжатие (деформацию) этого узла. Жесткость определяют как отношение нагрузки P (кгс) к деформации a (мм): $j = \frac{P}{a}$.

Чем больше это отношение, тем больше жесткость узла, или тем меньше его податливость [2].

Нормы точности и жесткости автоматов: токарных многошпиндельных прутковых — ГОСТ 43—75; токарно-револьверных — ГОСТ 18108—72; станков продольно-фрезерных — ГОСТ 18101—72; продольно-шлифовальных — ГОСТ 13135—72; протяжных — ГОСТ 16025—70; токарно-карусельных — ГОСТ 44—72; токарных многорезцовых и копировальных — ГОСТ 14755—74. Нормы жесткости полуавтоматов: токарных многошпиндельных, вертикальных патронных — ГОСТ 12110—72; патронных горизонтальных — ГОСТ 14756—69; станков внутришлифовальных — ГОСТ 13097—70; плоскошлифовальных ГОСТ 10600—74; резьбошлифовальных — ГОСТ 18196—72 и т. д.

2. Средняя точность станков [3]

Методы обработки	Класс точности	Пределы колебаний, мм
Точение, строгание:		
черновые	5	0,2—0,80
чистовые **	4	0,12—0,20
точные **	8	0,03—0,12
тонкие **	2	0,01—0,03
Фрезерование:		
черновое	4	0,12—0,40
чистовое **	3	0,03—0,20
Сверление, зенкерование *	5	0,20—0,80
Развертывание:		
предварительное	3	0,05—0,12
окончательное *	2	0,01—0,05
Протягивание:		
обычное	2а	0,02—0,06
точное **	2	0,01—0,03
Шлифование:		
черновое	3а	0,06—0,20
точное **	2	0,01—0,03
тонкое **	1	0,003—0,013
Хонингование:		
обычное **	2	0,02—0,05
точное **	1	0,01—0,03
Притирка	1	0,002—0,013

* При обработке деталей средних размеров.
** В станках с ЧПУ может быть получена значительно более высокая точность

В табл. 2 приведены данные по наиболее экономичной точности, получаемой на разных типах станков. Нормативные характеристики жесткости приведены в работе [5].

Испытание станков в работе следует проводить при перегрузке их на 25—50%.

В качестве объекта опытной наладки следует выбирать типичную для обработки на данном станке деталь. Испытание проводят путем последовательной обработки партии деталей с постепенным ужесточением режимов резания и снижением продолжительности цикла. Таким образом можно определить штучную производительность станка при изготовлении типовой продукции, а также удостовериться в заданной точности обработки. При обработке деталей измеряют потребляемую мощность на холостом ходу, при вспомогательных движениях и резании.

Испытывать станки на виброустойчивость необходимо для устранения возникающей вибрации. Эти испытания проводят главным образом при работе станка, причем регистрируются шероховатость обработанной поверхности (соответствие поверхности определенных образцов) и отсутствие вибрационного следа дробления. Для определения жесткости и виброустойчивости станка во время работы желательно также проводить испытание на вибрационном режиме. Так, на токарных автоматах применяют поперечное резание широким резцом (для средних станков ширина разца 40—60 мм, для крупных

станков 80—150 мм при подачах 0,03—0,10 мм/об), а также выполняют выточку узких, но глубоких канавок в деталях.

При более точных исследованиях виброустойчивости применяют осциллограф, определяющий частоты и амплитуды колебаний рабочих органов станка.

Испытание автоматизированных линий проводят для проверки надежности работы системы машин, агрегатов, транспортных устройств и других механизмов на полном автоматическом режиме при изготовлении высококачественных изделий с заданной производительностью. Как правило, испытание автоматизированной линии начинают с проверки работы всего входящего в нее оборудования (загрузочных, перегрузочных, транспортирующих, контрольных и других устройств, а также всех станков) на наладочном режиме. После того, как установлена безотказность работы каждого устройства, систем управления, блокировки и сигнализации, переходят к испытанию на автоматическом режиме.

Обычно автоматизированную линию испытывают в течение нескольких смен, регистрируя вынужденные остановки линии и отдельных станков, выявляя причины простоев и намечая пути к их устранению. Обрабатываемые на линии в течение испытательного срока детали подвергают тщательному контролю для установления их качества.

В переналаживаемых линиях проверяется продолжительность переналадки и количество людей, необходимых для обслуживания автоматизированной линии.

Монтаж состоит в установке, проверке и подсоединении станков к силовой сети. От правильной установки станка в значительной мере зависит его точность и сохранение ее в течение длительного времени. Станок устанавливают на предварительно подготовленном фундаменте, глубина которого зависит от размера и массы станка, а также от грунта [5].

При установке станков на фундамент происходит повышение их жесткости и виброустойчивости, поэтому для скоростных станков массой выше 2—3 т рекомендуется изготовлять отдельный фундамент. Автоматы небольшой массы можно устанавливать непосредственно на бетонном полу.

Установку станков производят в соответствии с установочным чертежом.

После предварительной установки станок выверяют точным уровнем как в продольном, так и в поперечном направлениях.

ЧИСЛОВЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА (ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ)

Большинство моделей современных станков характеризуется значительным количеством показателей, имеющих разную весомость в общей оценке их качества [1]. Оценка может быть осуществлена с помощью одного осредненного числового показателя по принятой шкале. Такая шкала качества должна позволять оценивать объективно и по возможности однозначно с точностью $\pm 10\%$ технический уровень отдельных станков; выявлять (в числовом выражении) качество создаваемой модели по сравнению с качеством предыдущей и аналогом; оценивать (в числовом выражении) уровень всего типажа выпускаемых станков

3. Значение основного показателя качества $K_{осн}$

Группа станка	Характеристика станка по степени автоматизации и механизации	$K_{осн}$
0	Ручные станки, которые при резании требуют ручного обслуживания	0
1	Полумеханизированные станки, у которых при резании только часть узлов требует ручного обслуживания	0,1
2	Механизированные станки, у которых обслуживание во время резания механизировано	0,2
3	Станки с автоматизированным переходом, у которых обслуживание во время резания и отвод рабочих узлов в исходное положение в конце каждого перехода (останов станка) автоматизированы	0,3
4	Станки-полуавтоматы, у которых все операции одного цикла автоматизированы	0,4
5	Станки-полуавтоматы: с активным автоматическим контролем; со следящим приводом; с цикловым программным управлением; с адаптивным управлением; с гидро- или пневмоавтоматикой; высокой точности	0,5
6	Полуавтоматы: с ЧПУ; многошпиндельные; многопозиционные; многосторонние; многопоточные, роторные; непрерывного действия	0,6
7	Станки-автоматы, обработка деталей, на которых производится автоматически с повторением цикла без участия человека	0,7
8	Станки-автоматы: с ЧПУ, многошпиндельные; многопозиционные; многосторонние; многопоточные; роторные; непрерывного действия; с активным автоматическим контролем, с автоматической сменой инструмента; с цикловым программным управлением; с адаптивным управлением; с ЭВМ; высокой точности, с роботом	0,8
9	Комплексные автоматы: установленные в автоматические линии; станки-комбайны массой более 15 т; обрабатывающие центры с инструментальными магазинами; с ЭВМ; станки особоточные	0,9
10	Комплексные автоматы; в автоматизированных участках; в автоматизированных цехах с автоматическими складами и управлением от ЭВМ	1,0

4. Показатели качества $K_{доп}$

Факторы, влияющие на качество	$K_{доп}$	Группы станков
Повышение режимов резания (уменьшение продолжительности цикла) на каждые 10%	0,02	1—8
Уменьшение продолжительности на каждые 10%:		
кинематической настройки	0,01	1—8
технологической наладки	0,01	1—8
вспомогательных ходов	0,01	1—8
Увеличение технологических возможностей	0,01	1—7

Продолжение табл. 4

Факторы, влияющие на качество	$K_{доп}$	Группы станков
Возможность встройки в автоматические линии	0,01	4—7
Увеличение числа:		
шпинделей или суппортов свыше одного	0,02	1—5
шпинделей сверлильных, резьбонарезных станков на каждые пять сверх одного	0,01	1—5
позиций на каждую сверх одной	0,01	1—5
потоков на каждый сверх одного	0,01	2—5
Точность станков.		
повышенная	0,05	1—3
высокая	0,10	1—3
Масса станков:		
выше 10	0,04	1—7
» 15	0,06	1—7
» 25	0,10	1—7
» 35	0,20	1—7
Введение однорукояточного или мнемонического управления	0,01	1—3
Автоматическое переключение:		
частоты вращения шпинделя в течение цикла	0,01	1—5
подачи	0,01	1—5
Введение быстрых вспомогательных ходов	0,01	1—3
Механизация зажима:		
обрабатываемого изделия	0,01	1—4
инструмента	0,01	1—4
Автоматизация подачи и зажима:		
обрабатываемого изделия	0,01	1—6
инструмента	0,01	3—7
Автоматизация правки инструмента	0,01	3—6
Контроль		
пассивный	0,02	2—4
активный	0,05	1—4
Цикловое программное управление	0,05	1—4
Индикация цифровая	0,02	1—4
Следящие системы управления:		
однокоординатные	0,02	1—4
двухкоординатные	0,04	1—4
трехкоординатные	0,06	1—4
Гидро- или пневмоавтоматика	0,06	1—4
Системы ЧПУ:		
двухкоординатные	0,08	2—5
трехкоординатные	0,12	2—5
Введение в систему управления ЭВМ	0,20	2—7
Коррекция программы в системе с ЧПУ	0,01	2—8
Сокращение продолжительности подготовки программы на каждые 10%	0,01	2—8
Уменьшение продолжительности ввода программы на каждые 10%	0,01	2—8
Введение системы адаптивного управления	0,05	3—7
Введение в систему управления информации:		
точности	0,03	3—8
окружающей среды	0,03	3—8
производительности	0,01	3—8
приведенных затрат	0,02	4—8
организации и планирования	0,01	4—8
эксплуатации	0,01	4—8
техники безопасности	0,03	1—8
Введение устройств, повышающих точность (оптические, специальные лимбы, линейки и устройства, уменьшающие отклонения до 10 мкм и ниже), надежность или срок службы	0,03	1—8

Продолжение табл. 4

Факторы, влияющие на качество	$K_{доп}$	Группы станков
Введение устройств облегчающих:		
обслуживание	0,01	1—8
ремонт	0,01	1—8
эксплуатацию	0,01	1—8
Архитектоника высшего класса.		
по эстетике	±0,05	1—10
по общей композиции	±0,05	1—10
Качество отделки:		
по 2-му классу	±0,02	1—10
по высшему классу	±0,05	1—10
Высокое качество и полный комплект технических материалов по рациональному использованию станка, примеры наладки, расчетов, рекомендации по ремонту	±0,02	1—10
Увеличение количества авторских свидетельств за каждое свидетельство	0,01	1—8
Патентоспособность	0,05	1—7

Примечания: 1. Дополнительные коэффициенты, связанные с архитектоникой, качеством отделки, качеством и полнотой технических материалов, могут учитываться для станков групп 8, 9 и 10 только со знаком минус, если элементы качества не соответствуют высшему классу.

2. По мере появления новых элементов качества их оценка проводится по аналогии с оценкой указанных элементов.

и его совершенствование в функции времени; без значительной затраты труда оценивать качество с минимальной затратой времени.

Шкала должна быть построена так, чтобы ее показатели отражали затраты труда на создание, производство и эксплуатацию современных станков и стимулировали выпуск наиболее прогрессивных их групп и моделей. Такая шкала может быть создана только при ряде допущений, упрощающих ее построение.

В последнее время для характеристики качества изделия единым числовым показателем используют метод экспертных оценок. Один из вариантов оценки качества станков [1, 2] можно предложить следующий: по одному из основных признаков, определяющих станок как машину-орудие, составляют классификацию основных групп, а остальные признаки учитывают как дополнительные показатели. Присвоив каждой группе определенный числовой показатель $K_{осн}$, можно составить общий показатель качества станка $K_{общ}$ как сумму основного и дополнительных признаков: $\sum_{1}^{n} = K_{доп\,i}$; $K_{общ} = K_{осн} + \sum_{1}^{n} K_{доп\,i}$

Классификация станков по степени автоматизации в баллах может быть такой, что $K_{осн}$ можно установить по определенной математической зависимости [1]. Если принять десятичную систему, то все станки подразделяют на 11 групп (табл. 3) с $K_{осн} = 0 \div 1$, $K_{осн} = aN$, где

N — номер группы; $a = 0{,}1$ — коэффициент арифметической прогрессии.

В табл. 3 и 4 приведены основные показатели качества и коэффициенты отдельных элементов качества станков (подобраны условно), а также те группы станков, для которых их следует применять.

Разработанная система оценки качества (уровня) станков позволяет определять осредненное числовое значение качества любой модели станка, включая автоматические линии и объекты комплексной автоматизации.

5. Ориентировочная оценка качества высокоточных полуавтоматов для зубошлифования цилиндрических колес $K_{общ}$

Показатели качества	Модули полуавтоматов		
	5В833, модуль 0,5—4 мм, ⌀ 40—320 мм	5851, модуль 2—10 мм, ⌀ 35—320 мм	5В836, модуль 1,5—8 мм, ⌀ 50—800 мм
Основные $K_{осн}$	0,5	0,5	0,5
Дополнительные $K_{доп}$:			
повышение производительности	—	—	—
сокращение:			
продолжительности кинематической настройки	0,02	0,01	0,01
продолжительности технологической наладки	0,02	—	0,01
вспомогательного времени	—	0,01	0,01
возможность встройки в автоматические линии	0,01	—	—
повышение технологических возможностей	—	0,02	0,01
автоматизация переключения подачи	0,01	0,01	0,01
механизация зажима изделия	—	0,01	—
автоматизация правки	—	0,01	—
однокоординатная следящая система	—	0,02	0,02
увеличение надежности	—	—	0,01
облегчение эксплуатация	0,03	—	0,03
облегчение обслуживания	0,01	—	—
композиция	0,05	—	0,05
учет массы	—	—	0,04
количество и полнота технологических материалов	—	—	—
разное	—	0,02	—
$K_{общ}$	0,66	0,6	0,71
$K_{общ}$, %	66	60	71

В табл. 5 приведен пример сравнительной оценки одного и того же типа и размера станка разных модификаций. Такой анализ дает возможность еще на стадии проектирования оценить качество (уровень) вновь подготавливаемой модели по сравнению с качеством предыдущей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богуславский Б. Л. К числовой оценке качества (технического уровня) металлорежущих станков. — «Стандарты и качество», 1974, № 10, с. 44—50.
2 Богуславский Б. Л. Автоматы и комплексная автоматизация. М., «Машиностроение», 1964. 562 с
3. Дащенко А. И., Шмелев А. И. Конструкция и наладка агрегатных станков М , «Высшая школа», 1965. 430 с
4. Детали и механизмы металлорежущих станков. В 2-х т. Т. 1. М., «Машиностроение», 1972. 666 с Авт.; Д. Н. Решетов, В. В. Каминская, А. С. Лапидус и др
5. Металлорежущие станки. В 2-х т. Т 1. М., «Машиностроение», 1965. 764 с. Авт., Н. С. Ачеркан, А. А. Гаврюшин, В. В. Ермаков и др.

Глава 13

ТОКАРНЫЕ ПОЛУАВТОМАТЫ И АВТОМАТЫ

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Автоматические токарные станки подразделяют по размерам, роду обрабатываемой заготовки, технологическим возможностям (выполняемым операциям), точности обработки, принципу действия, компоновке, конструкции, количеству шпинделей и позиций, типам (рис. 1).

У вертикальных станков масса, жесткость и мощность больше, чем у горизонтальных. Они предназначаются для обработки деталей большого диаметра и относительно небольшой длины. Токарные прутковые автоматы обрабатывают детали из прутка и трубы, магазинные автоматы — детали из точных штучных заготовок. На токарных полуавтоматах обрабатывают детали из штучных заготовок (отливки, поковки, штамповки) или из заготовок, отрезанных от прутка или трубы. Токарные автоматы применяют для обработки ответственных крепежных деталей (винты, гайки, шпильки), втулок, валиков, колец, роликов, ручек и других деталей, обычно изготовляемых из прутка или трубы, а в последнее время — и из штучных заготовок. На токарных полуавтоматах обрабатывают детали из штучных заготовок. Точность обработки на этих автоматизированных станках зависит от типа станка и инструмента

Токарные полуавтоматы и автоматы предназначаются в основном для выполнения следующих видов обработки: центрования, точения цилиндров, конусов и сложных профильных поверхностей, сверления, растачивания, развертывания, цекования, накатывания, нарезания резьбы, подрезания и отрезания. С помощью специальных устройств на токарных автоматах могут выполняться также многие другие работы.

Обработка деталей на одношпиндельных полуавтоматах может производиться по многорезцовому принципу — несколькими резцами одновременно (рис. 2, *б*, *в*) или по копировальному принципу — одним резцом по копиру (рис. 2, *а*). Часто применяют комбинированный принцип обработки.

По принципу работы многошпиндельные токарные полуавтоматы и автоматы бывают параллельного действия, обычно однопозиционные (рис. 3, *а*), последовательного действия — многопозиционные (рис. 3, *б*, *в*) и параллельно-последовательного действия (рис. 3, *г*, *д*). В полуавтомате последовательного действия заготовки, закрепленные на каждом шпинделе, проходят последовательно обработку во всех позициях (рис. 3) или при двухпоточной обработке в половине общего количества позиций. Многошпиндельные многопоточные полуавтоматы и автоматы параллельного действия (рис. 3, *а*) выполняют также в виде

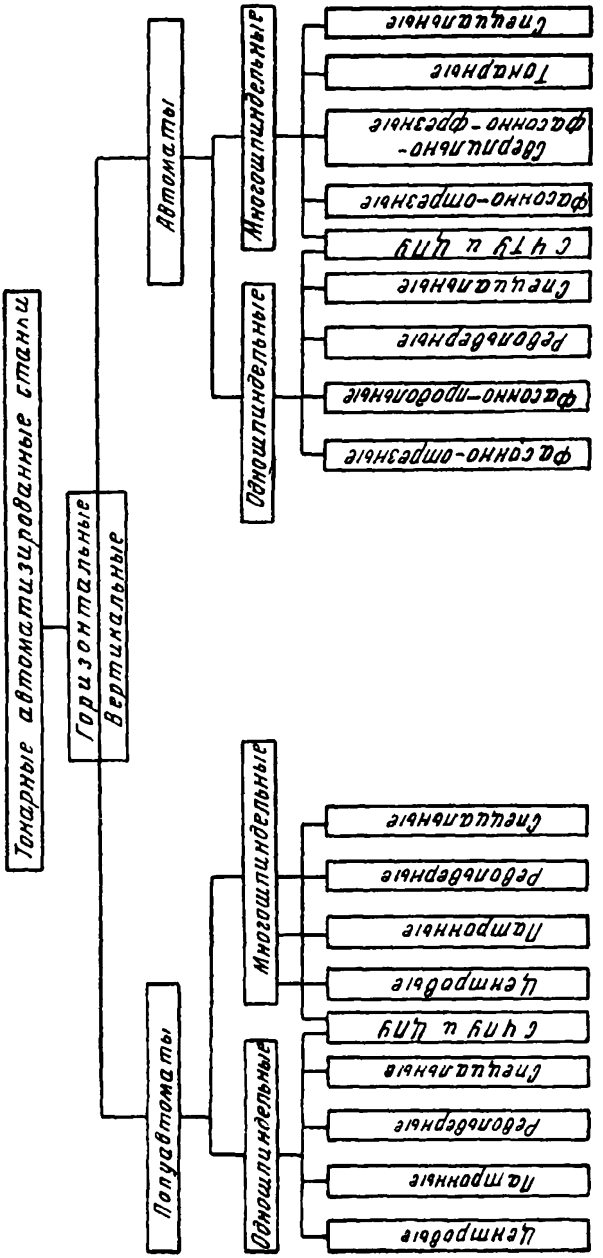


Рис. 1. Основные типы токарных полуавтоматов и автоматов

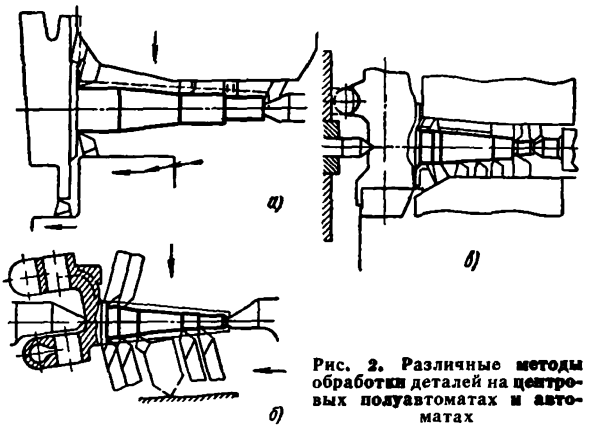


Рис. 2. Различные методы обработки деталей на центровых полуавтоматах и автоматах

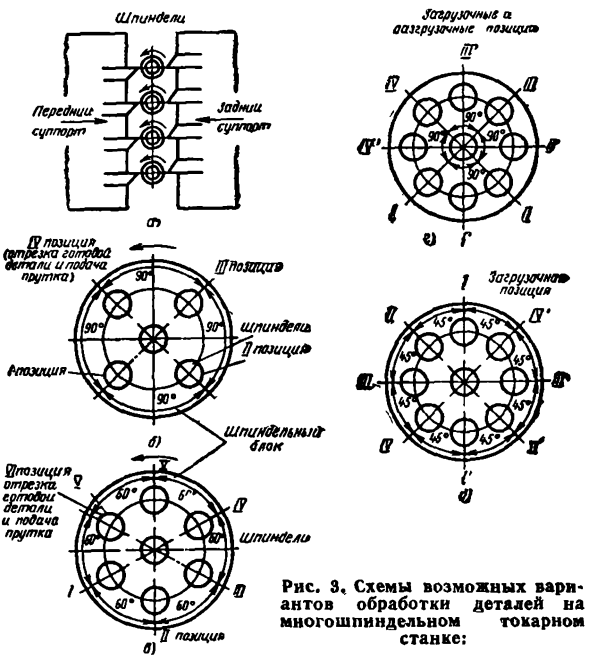


Рис. 3. Схемы возможных вариантов обработки деталей на многошпиндельном токарном станке:

а—отрезном (параллельного действия), *б* — четырехшпиндельном и *в* — шестишпиндельном (последовательного действия); *г* — восьмишпиндельном двухпоточном с двойным индексированием и *д* — восьмишпиндельном двухпоточном без двойного индексирования (параллельно-последовательного действия)

станков с непрерывно вращающимся столом или блоком. Эти станки часто называют роторными или ротационными (рис. 4, *а*).

Многошпиндельные полуавтоматы могут быть превращены в автоматы при помощи магазинных устройств или автооператоров. Перечень токарных автоматов и полуавтоматов, используемых в промышленности [3], приведен далее.

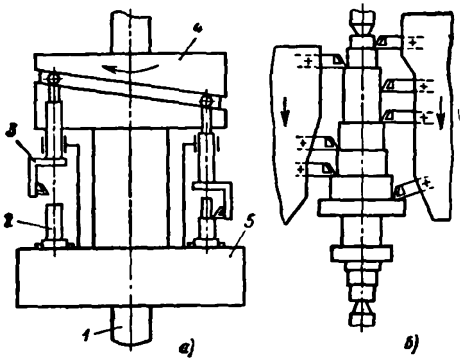


Рис. 4. Обработка детали на многопоточном токарном станке параллельного действия с непрерывно или периодически вращающимся столом:

а — схема станка; *б* — схема обработки ступенчатого валика; *1* — центральная колонна; *2* — шпиндель; *3* — суппорт; *4* — неподвижные кулачковые пазы; *5* — вращающаяся карусель

Тип станков	Максимальный размер обрабатываемой детали, мм
Токарно-револьверные одношпиндельные автоматы	10 *, 12, 16 *, 18, 25 *, 40 *
Токарные одношпиндельные автоматы продольного точения высокой точности	4, 6, 10, 16, 25
Токарные горизонтальные многошпиндельные автоматы (четырех-, шести-, восьмипозиционные) повышенной точности	16, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100
Токарные многорезцовые копировальные (вертикальные) полуавтоматы с программным управлением	160, 200 *, 250 *, 320 *, 500 *
Токарные многошпиндельные горизонтальные полуавтоматы повышенной точности	100, 130, 160, 200, 250
Токарные многошпиндельные вертикальные полуавтоматы	250, 400, 500, 630, 800

* Получаются на станках повышенной точности.

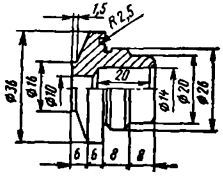
ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫЕ АВТОМАТЫ

На токарно-револьверных автоматах производят точение цилиндрических, конических и фасонных поверхностей, центрование, сверление, развертывание, растачивание отверстий, накатывание, шлицевание

Револьверная головка с инструментами совершает продольное возвратно-поступательное перемещение и периодический поворот. На боковых суппортах устанавливают инструменты, главным образом для обработки с поперечной подачей профильных поверхностей, канавок, сложных пазов торцовых поверхностей, а также для накатывания резьбы и отрезки готовой детали (табл. 1).

Применение фасонных и широких резцов целесообразно в следующих случаях: при обработке профиля деталей; при точных осевых раз-

1. План и карта обработки головки на токарно-револьверном автомате 1136



Деталь — головка

Материал *автоматная сталь А12* ø 36 мм

Частота вращения шпинделя, об/мин

Обтачивание $n_{шп}$ = 600 об/мин
v = 68 м/мин
Обтачивание $n_{шп}$ = 1500 об/мин
v = 94 м/мин

Рабочий узел	Переход	Путь l, мм	Подача s, мм/об	Потребное число оборотов шпинделя на каждый переход $n_р$	Принимаемые при расчете		Количество сотых долей (лучей) кулачка	Сотые доли (лучи) для расчета	
					рабочих ходов	вспомогательных ходов		производительности	кулачков
					число оборотов шпинделя	число сотых долей (лучей) кулачка			
Револьверная головка	Подача материала до упора	—	—	—	—	2,5	2,5	0—2,5	0—2,5
	Переключение револьверной головки	—	—	—	—	1,5	1,5	2,5—4	2,5—4
	Сверление отверстия ø 14 мм	22	0,12	184	184	—	42	4—46	4—46
	Переключение револьверной головки	—	—	—	—	1,5	1,5	46—47,5	46—47,5
	Обработка внутренней фаски	2,0	0,12	17	17	—	4	47,5—51,5	47,5—51,5

Продолжение табл. 1

Рабочий узел	Переход	Путь l, мм	Подача s, мм/об	Потребное число оборотов шпинделя на каждый переход $n_р$	Принимаемые при расчете		Количество сотых долей (лучей) кулачка	Сотые доли (лучи) для расчета	
					рабочих ходов	вспомогательных ходов		производительности	кулачков
					число оборотов шпинделя	число сотых долей (лучей) кулачка			
Револьверная головка	Переключение револьверной головки	—	—	—	—	1,5	1,5	51,5—53	51,5—53
	Врезание желобка и обработка наружной фаски	3,0	0,04	75	75	—	17	53—70	53—70
	Переключение револьверной головки	—	—	—	—	1,5	1,5	70,0—71,5	70,0—71,5
	Чистовая обработка ⌀ 20 мм при $n_{шп}$ = = 1500 об/мин:								
	ход вперед	8	0,12	66	26 *	—	6	71,5—77,5	71,5—77,5
	ход назад	8	0,36	22	9 *	—	2	77,5—79,5	77,5—79,5
	Переключение револьверной головки	—	—	—	—	3	3	79,5—82,5	79,5—82,5
	Сверление отверстия ⌀ 10 мм: $n_{шп}$ = = 1500 об/мин	10	0,12	84	34 *	—	7,5	82,5—90	82,5—90
	Переключение револьверной головки	—	—	—	—	—	3	—	90—93
Поперечные суппорты	Передний суппорт:	7	0,04	175	—	—	40	—	4—44
	обработка фасонной заготовки ⌀ 36—20,4	1	0,025	40	—	—	9	—	44—53

Продолжение табл. 1

Рабочий узел	Переход	Путь l, мм	Подача s, мм/об	Потребное число оборотов шпинделя на каждый переход $n_р$	Принимаемые при расчете		Количество сотых долей (лучей) кулачка	Сотые доли (лучи) для расчета	
					рабочих ходов	вспомогательных ходов		производительности	кулачков
					число оборотов шпинделя	число сотых долей (лучей) кулачка			
Поперечные суппорты	Задний суппорт: обработка фасонной заготовки ⌀ 36—16	11	0,04	275	—	—	63	—	6—69
	Верхний суппорт: отрезка детали ($n_{шп}$ = = 1500 об/мин) диаметром, мм:								
	16—12	2	0,06	33	14 *	—	3	90—93	90—93
	12—10	1	0,04	25	10 *	—	2,5	93—95,5	93—95,5
	10—8	2	0,12	17	7 *	—	1,5	95,5—97	95,5—97
	Отвод отрезного резца	—	—	—	—	3	3	97—100	97—100

Число лучей на вспомогательные переходы $K_в = 14{,}5$ $n_р = 376$.

Число лучей на выполнение рабочих ходов $K_р = (100 - 14{,}5) = 85{,}5$.

Число оборотов шпинделя, затрачиваемое на выполнение одной детали: $n_ц = \frac{376 \times 100}{85{,}5} = 440$ оборотов

Продолжительность цикла (потребное время на изготовление одной детали) $T_ц = \frac{60 \times 440}{600} = 44$ с.

Производительность без учета потерь $Q'_m = \frac{60 \times 60}{44} = 82$ шт/ч.

Производительность с учетом потерь $Q'_ф = 82 \times 0{,}85 = 70$ шт/ч.

* С учетом коэффициента приведения.

мерах обрабатываемой детали; при небольшой длине обрабатываемой детали и близком ее расположении к месту зажима прутка. Обработка внутренних поверхностей мало отличается от обработки на револьверных станках [1]. Для выточки канавок в отверстиях применяют качающиеся или выдвижные резцы, устанавливаемые в специальном резцедержателе. В этом случае цикл обработки следующий: продольное движение для ввода резца в отверстие, радиальная подача на необходимую величину, продольная подача, вывод резца (радиальный) из обрабатываемой выточки, вывод резца (продольный) из отверстия. Конусы можно обрабатывать комбинированным движением с помощью копировального приспособления с шаблоном, а также с применением следящего привода. Наружную резьбу нарезают резьбонарезной головкой, круглой плашкой, резьбовой гребенкой и накатывают. Плашки применяют для коротких резьб. Резьбы, расположенные за буртиками, нарезают резьбовой гребенкой или накатывают.

Нарезание гребенкой дает высокую точность резьбы, но довольно продолжительно. При резьбонарезании круглыми плашками и метчиками необходимо обеспечить свинчивание, для чего шпиндель должен иметь обратное вращение.

Рифление поверхности накатывают с использованием поперечного суппорта или с револьверной головки. При накатке необходимо поддерживать детали роликом, расположенным со стороны, противоположной накатному ролику. Для получения сетчатого рифления ролики устанавливают под углом друг к другу. Длинные поверхности рифления накатывают при продольной подаче. Накатку желательно не совмещать с другими операциями.

Пример обработки. На плане обработки вычерчены переходы обрабатываемой детали (см. табл. 1).

Для инструментов, установленных на одном и том же суппорте и работающих одновременно, подача всегда одинакова и определяется для инструмента, который допускает применение наименьшей подачи.

На основании нормативных данных подача для предварительного точения профильными поперечными резцами принята равной 0,04—0,05 мм/об, для окончательного 0,025 мм/об, для продольного точения и для сверления 0,10—0,12 мм/об. Приняв для второго перехода скорость резания фасонными резцами равной 68 м/мин и выбрав частоту вращения шпинделя $n_{шп} = 600$ об/мин, определяют скорость резания сверлом.

Рассмотрим обработку детали инструментами, установленными на револьверной головке. Скорости резания и подачи определяют в определенной последовательности [1].

По таблицам, приложенным к автоматизированным станкам, выбирают подачи в зависимости от технологических факторов (шероховатость поверхности, жесткость изделия, припуск и т. д.).

По подаче и заданной глубине резания определяют скорости резания исходя из расчетной стойкости инструментов. На основании скорости резания выбирают ближайшее значение частоты вращения шпинделя: $n_{шп} = 600$ об/мин.

В табл. 1 вторая скорость резания на основании заводской инструкции $v = 94$ м/мин, а соответствующая ей частота вращения шпинделя $n_{шп} = 1500$ об/мин.

После этого по чертежу определяют пути (ходы) инструмента и проставляют их в графе «Путь». Для того чтобы при быстром подводе инструмент не врезался в обрабатываемую деталь, к размеру, определенному по чертежу детали, следует прибавлять 0,5—3 мм в зависимости от размера автомата и хода суппорта.

Согласно этому правилу в карте обработки по табл. 1 в графе «Путь» проставлены следующие пути инструментов по переходам: вместо 20 мм по чертежу — 22 мм; вместо 1,5—2 мм и т. д.

В графу «Подача» вносят значения подачи для каждого перехода (мм/об).

Продолжительность перехода определяется длиной пути инструмента l; выбранной подачей s; количеством оборотов шпинделя $n_п$, за которое инструмент пройдет заданный путь; соотношением необходимого числа оборотов шпинделя $n_п$ и частоты вращения, мм; s — подача, мм/об.

Определив число оборотов шпинделя $n_п$, которое необходимо для выполнения данного перехода, находят продолжительность перехода, которая равна $n_п/n_{шп}$.

Если различные рабочие операции производятся при разных частотах вращения шпинделя, то для определения суммы оборотов шпинделя всех рабочих ходов и всех переходов необходимо привести количество оборотов к одной частоте вращения шпинделя, или, как говорят, ввести коэффициент приведения. В примере $n_{шп_1} = 600$ об/мин и $n_{шп_2} = 1500$ об/мин коэффициент приведения $\frac{1500}{600} = 2{,}5$.

При расчетах принимают только числа оборотов по несовмещенным переходам. Затем определяют суммарное число оборотов шпинделя $\sum n_р$, потребное для выполнения всех несовмещенных рабочих ходов. В примере $\sum n_р = 376$ оборотов. Продолжительность вспомогательных ходов выбирают в соответствии с заводским руководством по наладке.

Для расчета кулачка его окружность разбивают на равное число лучей (частей). Кулачок делят на 100 или 360 лучей, каждую рабочую и вспомогательную операцию выражают в количестве сотых долей (рис. 5, *а*) или в градусах (рис. 5, *б*). На рис. 5, *в* показан метод построения кривой по архимедовой спирали.

Используя инструкцию по наладке автомата, проставляют в табл. 1 неперекрываемое число сотых долей (лучей) кулачка, затрачиваемое на подачу прутка до упора, на зажим прутка и на поворот револьверной головки. На отвод отрезного резца рекомендуется обычно отводить три луча.

Если подсчитать все лучи, затрачиваемые на выполнение несовмещенных вспомогательных ходов $K_в$, то получаем $K_в = 14{,}5$ луча; $K_р = 100 - 14{,}5 = 85{,}5$ луча.

Для определения продолжительности рабочих и вспомогательных движений, выраженной в сотых долях (лучах) цикла, необходимо определить:

1) ориентировочную продолжительность цикла;

2) по таблицам количество лучей, приходящееся на вспомогательные ходы $K_в$, исходя из общей ориентировочной продолжительности цикла $T_{ор}$, которую принимают равной 1,25—1,3 от продолжительности всех рабочих ходов, т. е. $T_{ор} = (1{,}25 \div 1{,}3)\, T_р$, $60 \sum n_р/n_{шп}$ с;

3) количество лучей, приходящееся на рабочие операции: $K_р = (100 - K_в)$ лучей;

4) количество оборотов шпинделя за цикл; $n_ц = \frac{n_р \cdot 100}{100 - K_в} = \frac{n_р \cdot 100}{K_р}$ об/цикл;

5) количество оборотов шпинделя, которое приходится на один луч; $n_л = n_ц/100$ об. шп./луч;

6) количество лучей $K_{п1}$, $K_{п2}$, которое необходимо для выполнения каждого перехода (1, 2, ...): $K_{п1} = n_{п1}/n_л$ лучей; $K_{п2} = n_{п2}/n_л$ лучей; ..., где $n_{п1}$, $n_{п2}$, ... — количество оборотов шпинделя, которое необходимо для выполнения первого, второго и т. д. переходов.

Тогда на рабочие операции остается количество лучей $K_р = 100 - K_в = 100 - 14{,}5 = 85{,}5$.

Зная, что весь цикл происходит за $n_ц = \frac{376 \cdot 100}{85{,}5} \approx 440$ оборотов шпинделя, можно определить, сколько оборотов приходится на один луч; $n_л = \frac{n_ц}{100}$ оборотов шпинделя.

В примере на один луч приходится $n_л = \frac{440}{100} = 4{,}4$ оборота шпинделя.

Теперь можно определить количество лучей, приходящихся на каждый переход. Например, $K_{п2} = \frac{184}{4{,}4} \approx 42$ луча.

Продолжительность цикла может быть подсчитана по формуле

$$T_ц = \frac{n_ц}{n_{шп}} \text{ мин или } T'_ц = \frac{60n_ц}{n_{шп}} \text{ с,}$$

где $n_{шп}$ — частота вращения шпинделя.

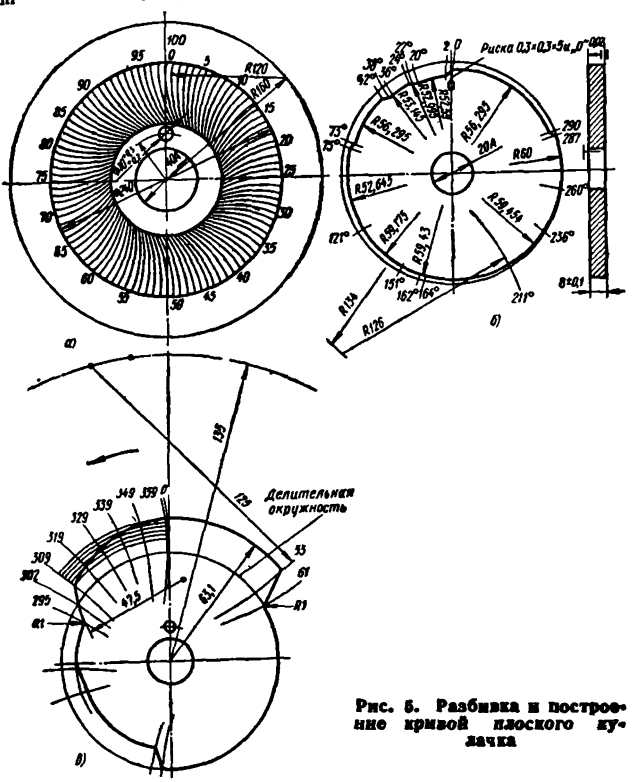


Рис. 5. Разбивка и построение кривой плоского кулачка

Для нашего примера продолжительность цикла

$$T'_ц = \frac{60n_ц}{n_{шп}} = \frac{60 \cdot 440}{600} = 44 \text{ с.}$$

Штучную производительность без учета потерь (теоретическую штучную производительность) определяют в шт/мин по формуле $Q_ш = \frac{1}{T_ц} = \frac{60}{T'_ц}$, в шт/ч — по формуле $Q'_ш = \frac{60 \cdot 60}{T'_ц}$ шт/ч.

В таблице дана расчетная штучная теоретическая производительность (шт/ч) $Q'_m = \frac{60 \cdot 60}{44} \approx 82$.

Фактическую штучную производительность (с учетом потерь) (шт/ч) определяют по формуле $Q'_ф = Q'_m \eta$, где $\eta = 0{,}8 \div 0{,}95$ — эксплуатационный коэффициент использования станка; чем станок и обрабатываемая деталь сложнее, тем η ближе к 0,8.

Можно принять η равным 0,85; тогда $Q'_ф = 82 \cdot 0{,}85 \approx 70$ шт/ч.

Первое движение (первый элемент) цикла (подача прутка до упора) соответствует лучу, который на кулачке отмечен как «0». Операция отрезки не может совмещаться с другими операциями.

Радиусы кулачков определяют в приведенном далее порядке. По паспорту станка выбирают основные данные по кулачку и по приводу узла — максимальный радиус кулачка R_{max}, минимальный радиус кулачка R_{min}, расстояние от оси кулачка до оси рычага, передаточное отношение к рычажной системе. Окружность плоского кулачка разделяют на 100 частей (см. рис. 5, *а*). Радиусы кулачка для каждого перехода определяют исходя из конечного положения рабочего узла. Для продольных суппортов наибольший диаметр кулачка соответствует положению, при котором они находятся на наименьшем расстоянии от торца шпинделя; для поперечных суппортов R_{max} соответствует положению, в котором инструмент несколько переходит за осевую линию шпинделя. Эти данные для револьверной головки всегда указывают на эскизах плана обработки: $R_{max} = 120$ мм будет соответствовать конечному положению револьверной головки, где $L = L_{min} = 92$ мм. Остальные радиусы R (мм) для конечных положений узла определяют как разность между R_{max} и остальными L_j; $R_1 = R_{max} - (L_1 - L_{min}) = (R_{max} + L_{min} - L_1)$ мм; $R_2 = R_{max} - (L_2 - L_{min}) = (R_{max} + L_{min} - L_2)$ мм и т. д.

В примере соответствующее значение: $R_1 = 120 + 90 - 116 = 94$ мм; $R_2 = 120 + 90 - 100 = 110$ мм и т. д. Для определения радиуса кулачка, соответствующего началу рабочего хода, из значения радиуса, соответствующего концу рабочего хода, вычитают намеченный путь режущего инструмента при условии, что передаточное отношение в рычажной системе равно единице.

В примере радиус конечного положения револьверной головки по переходам $R_3 = 100 - 22 = 78$ мм; $R_4 = 112 - 2 = 110$ мм и т. д. Обычно для гарантирования безударного врезания инструмента путь инструментов увеличивают на 0,5—3 мм, т. е. уменьшают значения всех $R'_j = 0{,}5 - 3$ мм.

Рабочая подача должна осуществляться с постоянной скоростью $r_в = k\theta$, где $r_в$ — радиус спирали Архимеда; θ — угол поворота кулачка; $k = \text{const}$ — постоянная, характеризующая данную спираль Архимеда.

Обычно кривую движения кулачка для нарезания резьбы строят так, что она задает перемещение суппорта, соответствующее шагу, меньшему на 5—10%, чем шаг резьбы, т. е. не совпадает с теоретической кривой. Кривую движения кулачка для сбега резьбонарезного инструмента вычерчивают так же, как и рабочую кривую.

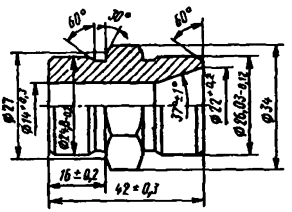
При накатывании резьбы отвод также необходимо производить на рабочей подаче, а следовательно, и кривую отвода нужно строить по архимедовой спирали.

МНОГОШПИНДЕЛЬНЫЕ АВТОМАТЫ И ПОЛУАВТОМАТЫ

Правила и порядок настройки и наладки [2, 3] рассмотрим на примере обработки штуцера на шестишпиндельном автомате мод. 1240-6 (табл. 2). Автоматы 1240 и 1А225 так же, как и автоматы 1225, 1240, 1265 и 1290 разных исполнений, — многопозиционные станки, на которых обработка деталей производится последовательно на всех позициях.

Основная задача — правильно разбить обработку между позициями, имея в виду получение максимальной производительности при соблюдении всех требований к точности деталей.

2. План и карта обработки проходного штуцера на шестишпиндельном автомате



Сталь 35, $S = 30$

Сменные колеса $\frac{A}{Б} = \frac{35}{39}$ $\frac{B}{Г} = \frac{33}{49}$

$n_{шп} = 316$ об/мин; $n_{р.в} = 1{,}74$ об/мин

Рабочий угол 140°. Вспомогательный угол 220°

Время рабочего хода 43,5 с	Время вспомогательного хода 2,1 с

$T_ц = 45{,}6$ с; $Q'_т = 79$ шт/ч; $Q'_ф = 63$ шт/ч

Позиция	Ход суппортов	Переход	Длина обработки, мм	Рабочий ход, мм	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин
	Продольный	Центровать до ø 21	10	26	0,12	20,8
	Поперечный	Подрезать торец	4	5,5	0,026	26,8
II	Продольный	Сверлить ø 4 Проточить ø 26,5	22	26	0,12	33,7
	Поперечный	—	—	—	—	
III	Продольный	Сверлить ø 14	20	26	0,12	13,9
	Поперечный	Обработать фасонным резцом до ø 26,5	4	5,5	0,26	33,7
IV	Продольный	Зенковать конус с углом 37° предварительно	10	26	0,12	21,8
	Поперечный	Обработать фасонным резцом весь профиль	1,0	2,7	0,0129	33,7
V	Продольный	Зенковать конус с углом 37° окончательно	0,5	4,0	0,018	21,8
	Поперечный	—	—	—	—	
VI	Продольный	—	—	—	—	—
	Поперечный	Отрезать	5,5	8,0	0,0378	24,8

Для того чтобы продолжительность обработки на отдельных позициях не лимитировала производительности автомата, наиболее длительные операции выполняют на двух и даже трех позициях.

При использовании позиции VI необходимо иметь в виду, что в ней производится также подача и зажим прутка.

Пример. Произведем расчеты, необходимые для заполнения карты наладки (см. табл. 2). По наиболее длительной операции (фасонированию) выбираем скорость 35 м/мин. Тогда частота вращения шпинделей составит $n_{шп} = \frac{55 \cdot 1000}{\pi d} \approx 328$ об/мин. По паспорту подбираем ближайшую частоту вращения, которую можно получить на этом автомате: $n_{шп} = 316$ об/мин соответствует скорости резания $v = 33{,}7$ м/мин (сменные колеса устанавливают по паспорту станка).

Затем по длине обработки определяем длину рабочих ходов суппортов, а также выбираем подачи.

По наиболее длительной операции определяем для нее потребное число оборотов шпинделя: $n_{п\,max} = \frac{l}{s} = \frac{26}{0{,}12} \approx 220$ оборотов.

Рабочие операции должны быть выполнены на 135,5° поворота распределительного вала в соответствии с характеристикой автомата, т. е. за время $T'_р = 60 \frac{n_{п\,max}}{n_{шп}} = 60 \frac{220}{316}$ с.

Кроме того, необходимо учесть 4,5° на включение муфты быстрого вращения распределительного вала.

Таким образом, рабочее вращение распределительного вала должно происходить на угле 135,5° + 4,5° = 140°, и время, необходимое для выполнения наиболее длительной операции, увеличится в отношении $\frac{140°}{135{,}5°}$, а именно:

$$t_р = 60 \frac{220}{316} \frac{140}{135{,}5} = 43 \text{ с.}$$

Подбираем по паспорту ближайшее большее время, равное 43,5 с, и устанавливаем сменные колеса.

Вспомогательные операции на этом автомате производятся на 220° поворота распределительного вала в течение времени $t_в = 2{,}1$ с.

Продолжительность цикла $T_ц = t_р + t_в = 43{,}5 + 2{,}1 = 45{,}6$ с. Теоретическая производительность $Q'_т = \frac{60 \cdot 60}{T_ц} = \frac{3600}{45{,}6} \approx 79$ шт/ч.

Фактическая производительность (производительность с учетом потерь) $Q'_ф = Q'_т \eta = 79 \cdot 0{,}8 = 63$ шт/ч.

Проектирование цилиндрических кулачков производится на основании тех же данных, что и для плоских кулачков, но выполнение их отличается от последних. Если развернуть цилиндр в плоскость, то получается прямоугольник (рис. 6), высота которого равна высоте цилиндра, а ширина — длине окружности (развертке). Длина развертки $L = \pi D$, где D — диаметр цилиндра, мм.

При проектировании цилиндрических кулачков длину развертки делят на 360 частей, при этом каждый луч соответствует повороту кулачкового барабана на 1°.

Цилиндрические кулачки, как и плоские, должны иметь участки быстрого подвода, рабочей подачи и быстрого отвода.

Каждый из этих участков цилиндрического кулачка представляет собой винтовую поверхность с другим углом подъема. Винтовая линия на развертке цилиндрического кулачка изображается прямой линией. Определив, как и в случае применения плоского кулачка, путь l_1 инструмента, подачу s в миллиметрах на оборот шпинделя и число оборотов шпинделя $n_п$, нужное

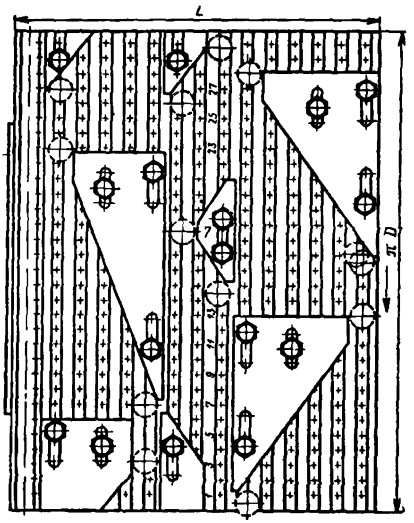


Рис. 6. Пример развертки кулачкового барабана

для выполнения каждого перехода, можно рассчитать кривую цилиндрического кулачка

Подъем кулачка h на кривой данного рабочего хода (при условии, если длины плеч рычага одинаковы) равен пути инструмента l. $h = l$, тогда $n_п = l/s = h/s$

Если отношение плеч в рычажной системе от кулачка к рабочему узлу равно $i_{р.с}$, то $h = l/i_{р.с}$

Соотношение между рабочей подачей s и подъемом кулачка выражается следующими формулами. $s = \frac{h i_{р.с}}{n_п}$, или $s = \frac{h\ 360}{\beta_п\ i_{р.с}}$; здесь $\beta_п$ — угол поворота кулачкового барабана, соответствующий выполнению данной операции, °; i — передаточное отношение от шпинделя к распределительному валу, $i = n_{р\,в}/n_{шп}$, где $n_{р\,в}$ — частота вращения распределительного вала на рабочем ходу, об/мин; $n_{шп}$ — частота вращения шпинделя, об/мин

Продолжительность рабочих ходов при применении цилиндрических кулачков определяется так же, как и в случае применения плоских кулачков

На рис. 7—11 приведены схемы и планы обработки деталей на токарных полуавтоматах и автоматах разных типов.

В табл. 1—4 приведены планы и карты обработки деталей на токарных автоматах и полуавтоматах, которые получили наибольшее применение в СССР. При наладке новых моделей одно- и многошпиндельных автоматов необходимо руководствоваться более высокими режимами резания.

Методика и порядок разработки остаются такими же, как описано ранее.

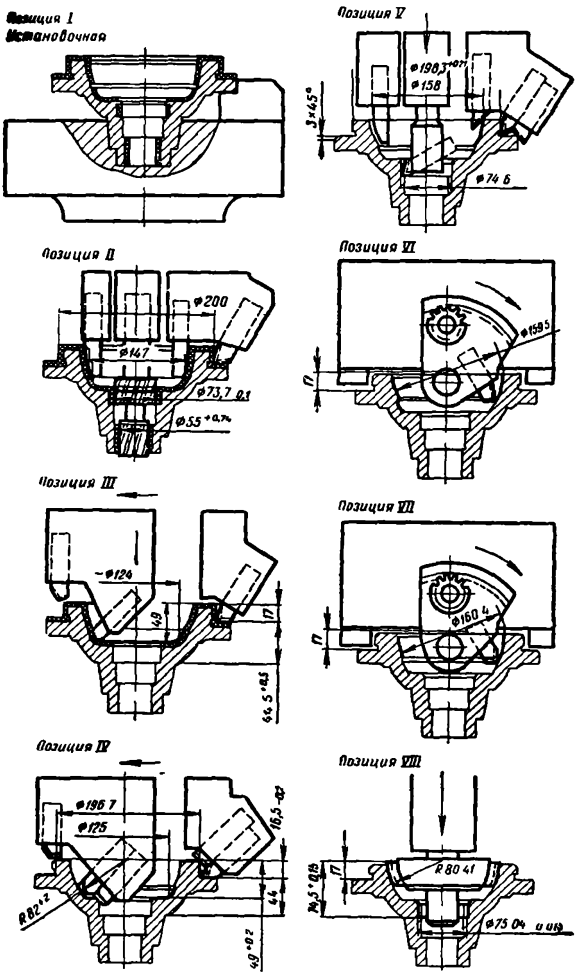


Рис. 7. Схема обработки чашки на вертикальном восьмишпиндельном полуавтомате

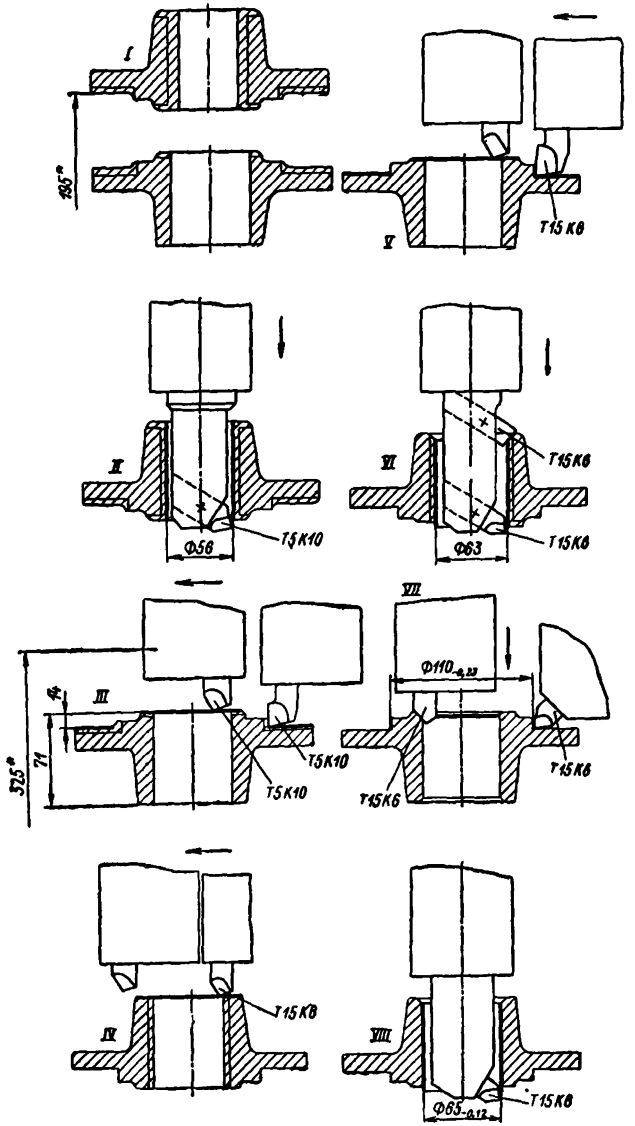


Рис. 8. Схема двухпоточной обработки ступицы (обе стороны) на восьмишпиндельном вертикальном полуавтомате. Режимы работы:

№ позиции на рис 8	Рабочий ход, мм	n, об/мин	v, м/мин	s, мм/об	$T_{маш}$, мин
II	82	230	40	0,245	2,15
III	45	144	88—30	0,245	2,0
IV	35	230	62—40	0,205	1,45
V	45	153	94—31	0,225	2,0
VI	76	230	50		2,16
VII	12	200	69—41	0,205	1,0
VIII	76	248	51		2,2

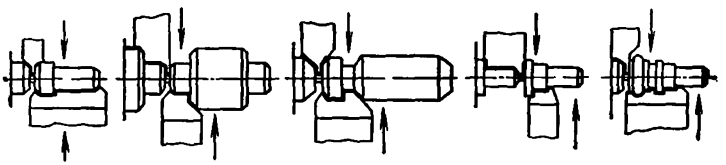


Рис. 9. Схема обработки детали на фасонно-отрезном автомате

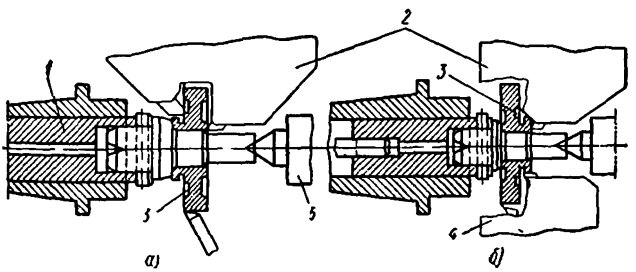


Рис. 10. Схемы обработки шестерни на токарном многорезцовом полуавтомате:

а — одной стороны; *б* — второй стороны; *1* — пиноль шпинделя; *2* — задние суппорты; *3* — обрабатываемое колесо; *4* — передние суппорты; *5* — пиноль задней бабки

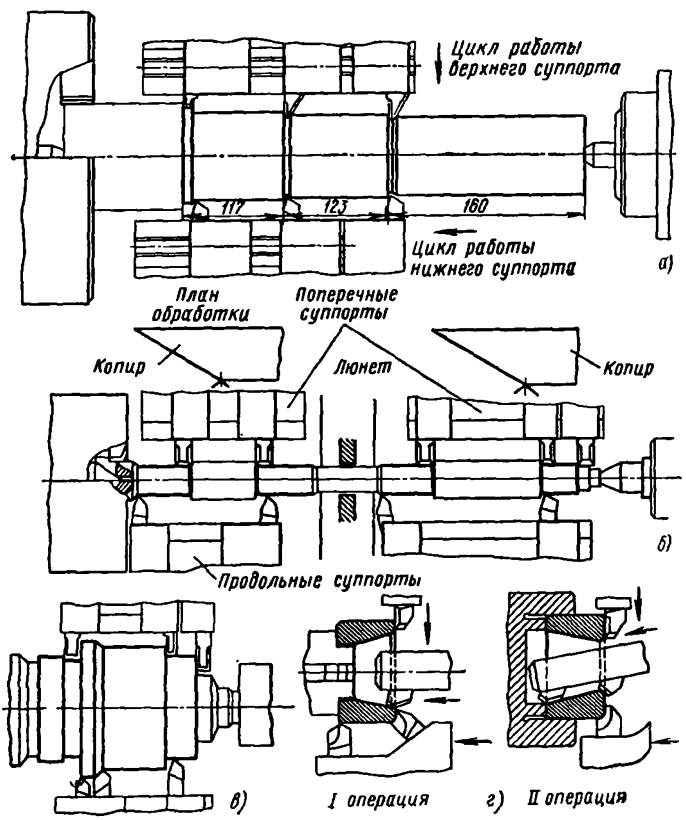
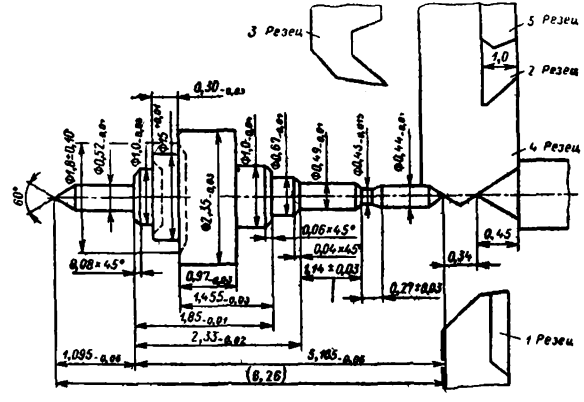


Рис. 11. Обработка деталей на многорезцовых полуавтоматах: *а* и *б* — валов; *в* — стакана; *г* — колец подшипников

3. План и карта обработки детали на автомате фасонно-продольного точения



Деталь К26-В	Скорость резания v = 43 м/мин Частота вращения шпинделя $n_{шп}$ = 5850 об/мин	Передаточное отношение сменных шкивов 170 : 110; зубчатых колес 125 : 100
Материал: *Сталь У7 (⌀ 2,35 мм)*		

№ по пор.	Операция	Путь инструмента, мм	Отношение рычагов	Подъем кулачка, мм	s, мм/об	n, об/мин	Угол поворота кулачка, Рабочий ход	Вспомогательный ход	Диапазон
1	Открытие цанги	—	—	—	—	—	—		0—10
2	Бабка назад	6,60	3	19,80	—	—	—	10	10—20
3	Закрытие цанги	—	—	—	—	—	—	15	20—35
4	Резец *4* назад	1,775	2	3,55	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 3

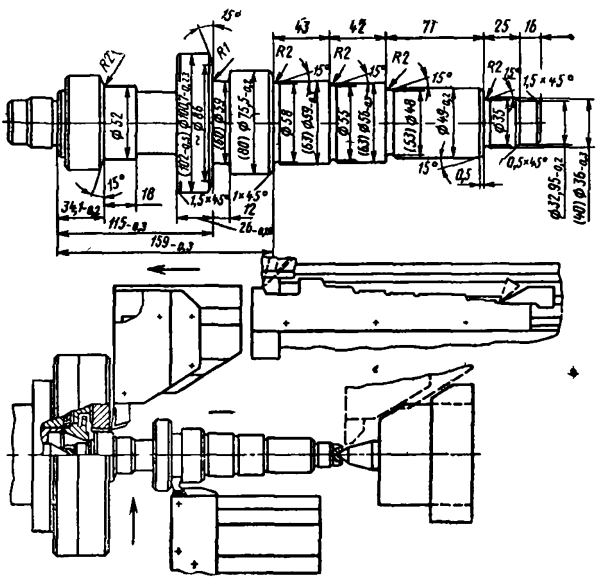
№ по пор	Операция	Путь инструмента, мм	Отношение рычагов	Подъем кулачка, мм	s, мм/об	n, об/мин	Угол поворота кулачка, °		
							Рабочий ход	Вспомогательный ход	Диапазон
5	Резец *1* вперед	1,415	3	4,245	—	—	—	3	35—38
6	Бабка вперед	0,745		2,235	0,002	372	27	—	38—65
7	Пауза	—	—	—	—	—	—	2	65—67
8	Резец *1* назад	0,18		0,54	—	—	—		67—69
9	Резец *1* назад	0,06	3	0,18	—	—	—	—	—
10	Бабка вперед				0,001	60	6	—	69—75
11	То же	0,045		0,135		45	4	—	75—79
12	Пауза	—	—	—	—	—	—	2	79—81
13	Резец *1* назад	0,45	3	0,75	—	—	—		81—83
14	Бабка вперед	0,3		0,9	0,003	100	7	—	83—90
15	Пауза	—	—	—	—	—	—	2	90—92
16	Резец *1* назад	0,925	3	2,775	—	—	—	3	92—95
17	Резец *3* вперед	1,175	2	2,35	—	—	—	—	—
18	Бабка вперед	0,4	3	1,2	0,005	80	6	—	95—101
19	Пауза	—	—	—	—	—	—		101—103
20	Бабка назад	0,4	3	1,2	—	—	—	2	103—105
21	Резец *3* назад	0,25	2	0,5	—	—	—		105—107
22	Бабка вперед	0,7	3	2,1	0,005	140	10	—	107—117
23	Пауза	—	—	—	—	—	—		117—119
24	Бабка назад	0,700	2	1,40	—	—	—		119—121
25	Резец *3* назад	0,925		1,85	—	—	—		121—123
26	Бабка вперед	1,87		5,61	—	—	—	6	123—129
27	Резец *2* вперед	0,4	3	1,2	—	—	—	2	129—131
28	То же	0,775		2,325	0,002	388	28	—	131—159
29	Пауза	—	—	—	—	—	—	2	159—161
30	Бабка вперед	0,415	3	1,245	0,003	138	10	—	161—171

Продолжение табл. 3

№ по пор	Операция	Путь инструмента, мм	Отношение рычагов	Подъем кулачка, мм	s, мм/об	n, об/мин	Угол поворота кулачка,		
							Рабочий ход	Вспомогательный ход	Диапазон
31	Резец 2 вперед	0,07	3	0,21	—	—	—	—	—
32	Бабка вперед				0,001	70	6	—	171—177
33	Резец 2 вперед	0,085		0,255	0,002	42	4	—	177—181
34	Пауза	—	—	—	—	—	—	2	181—183
35	Бабка вперед	0,42		1,26	0,003	140	10	—	183—193
36	То же		3		—	—	—	—	—
37	Резец 2 вперед	0,05		0,15	0,001	50	6	—	193—199
38	То же				0,002	25	4	—	199—203
39	Пауза	—	—	—	—	—	—	2	203—205
40	Резец 2 вперед	0,015		0,045	—	—	—	—	—
41	Бабка вперед	1,410	3	4,23	0,002	705	52	—	205—257
42	Резец 2 назад	1,0		3,0	—	—	—	3	257—260
43	Резец 4 вперед	1,44	2	2,88	—	—	—	—	—
44	Резец 5 вперед	0,135		0,27	0,001	135	12	—	260—272
45	Пауза	—	—	—	—	—	—	2	272—274
46	Резец 5 назад	1,575	2	3,15	—	—	—		274—276
47	Резец 2 вперед	1,0	3	3,0	—	—	—	3,0	276—279
48	То же	1,001		0,03	—	—	—	—	—
49	Бабка вперед	1,045		3,135	0,002	622	35	—	279—314
50	То же	0,38		1,14		190	14	—	314—328
51	Резец 2 назад	1,455		4,365	—	—	—	3	328—331
52	Бабка назад	0,86		2,58	—	—	—	2	331—333
53	Резец 4 вперед	1,355	2	2,71	—	—	—	3	333—336
54	То же	0,42		0,84	—	—	—	—	—
55	Бабка вперед	0,55	3	1,95	0,002	325	24	—	336—360
						3527	265	95	

4. План и карта обработки ступенчатого вала на гидрофицированном полуавтомате 1722

Токарный гидрокопировальный полуавтомат 1722		Материал заготовки — поковки сталь 18ХГТ			
$n_р = 833$ об.; $t_р = \frac{833}{448} \approx 1{,}86$ мин; $t_в = 0{,}30$ мин	$T_ц = 2{,}16$ мин	Коробка скоростей			
		Положение двойчатки		Сменные шестерни	
		правой	левой	А	Б
$v_{max} = 143{,}5/42{,}3$ м/мин; $n_{шп} = 448$ об/мин		I	II	23	56



Суппорт	Переход	Ход, мм	Подача		Учитываемое число оборотов шпинделя	Машинное время, мин
			мм/об	мм/мин		
Копировальный	Обтачивание профиля по копиру	375	0,45	201,6	833	1,86
Подрезной	Прорезание канавок	15	0,2	89,6	Совмещаются	

ГИДРОФИЦИРОВАННЫЕ ТОКАРНЫЕ АВТОМАТЫ И ПОЛУАВТОМАТЫ

В гидрофицированных токарных автоматических станках все движения рабочих узлов осуществляются обычно при помощи цилиндров и штоков [3]. В связи с этим рабочая подача суппортов выражается в миллиметрах в минуту.

Поэтому при выборе режимов резания необходимо пересчитать установленную по справочникам допустимую подачу s (мм/об) в подачу s_{min} (мм/мин) по формуле $s_{\text{min}} = sn_{\text{шп}}$.

Продолжительность каждого перехода следует определять исходя из длины рабочего хода l: в минутах—по формуле $t_{\text{п}} = l/s_{\text{min}}$; в секундах — по формуле $t'_{\text{п}} = \dfrac{60l}{s_{\text{min}}}$.

Продолжительность быстрого подвода определяют по формулам: в минутах — по $t_{\text{б. п}} = l_{\text{б. п}}/1000v_{\text{б. п}}$; в секундах — по $t'_{\text{б. п}} = 60l_{\text{б. п}}/1000v_{\text{б. п}}$. Продолжительность быстрого отвода определяют по формулам: в минутах — по $t_{\text{б. отв}} = l_{\text{б. отв}}/1000v_{\text{б. отв}}$; в секундах — по $t'_{\text{б. отв}} = 60l_{\text{б. отв}}/1000v_{\text{б. отв}}$, где $l_{\text{б. п}}$, $l_{\text{б. отв}}$ — соответственно путь быстрого подвода и отвода, мм; $v_{\text{б. п}}$, $v_{\text{б. отв}}$ — соответственно скорость быстрого подвода и отвода, м/мин.

Частота подналадки зависит от стойкости инструментов. Чем выше стойкость, тем реже приходится производить подналадку. С другой стороны, стойкость резко уменьшается с увеличением скорости резания. Обычно режимы резания выбирают исходя из экономической стойкости $T_{\text{эк}}$, которую при обработке стали подсчитывают по формуле $T_{\text{эк}} = k(m - 1)t_{\text{под}}$, где k — число инструментов на станке; m — коэффициент; $m = 5$ для быстрорежущих инструментов, $m = 4$ для твердосплавных инструментов; $t_{\text{под}}$ — время, потребное для подналадки и регулировки одного инструмента, мин.

В СССР на многих предприятиях подналадку производят по заранее разработанному графику («принудительная» подналадка), т. е. через определенные промежутки времени. Для подналадки желательно использовать также нерабочее время. «Принудительная» подналадка сокращает потери, повышая время использования и производительность станков. С целью сокращения продолжительности простоя станка во время подналадки для крепления инструментов применяют такие устройства, которые легко сменяются и в которых инструменты могут окончательно устанавливаться на размер (регулироваться) с нужной точностью. В этом случае подналадка сводится только к установке взаимозаменяемых держателей. Такие инструменты называют бесподналадочными. Они резко снижают продолжительность подналадки станка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Богуславский Б. Л.** Токарные полуавтоматы, автоматы и автоматические линии. М., «Высшая школа», 1966, 600 с.
2 **Богуславский Б. Л.** Автоматы и комплексная автоматизация. М., «Машиностроение», 1964, 524 с.
3. **Металлорежущие станки.** Каталог. М., НИИМаш, 1972, 270 с.

Глава 14

СТАНКИ С СИСТЕМАМИ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

КЛАССИФИКАЦИЯ

Наиболее эффективный метод автоматизации станков для серийного производства — применение систем числового программного управления (ЧПУ).

Основные особенности станков с системами ЧПУ: повышенные частоты вращения шпинделя (до 3—4 тыс. об/мин) и увеличенные скорости перемещения узлов (до 6,5—15 м/мин) при уменьшенной продолжительности разгона и торможения (0,2—0,3 м), происходящих на минимальном участке (не более 25 мм); автоматическое бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя; привод подачи — от шаговых двигателей с усилителем через шариковую винтовую пару; высокая точность позиционирования подвижных узлов (до $\pm$0,025 мм) без обратной связи в станках повышенной точности (до 0,012 мм) [точность автоматического позиционирования приведена в табл. 1]; использование цифровой индикации, что облегчает эксплуатацию станков.

1. Точность автоматического позиционирования

Координатное перемещение, мм	Точность автоматического позиционирования, мкм				
	Класс точности				
	Н	П	В	А	С
⩽125	25	13	6	3	1,5
⩽200	32	16	8	4	2,0
⩽320	40	20	10	5	2,5
⩽500	50	25	12	6	3,0
⩽800	63	32	16	8	4 0
⩽1250	80	40	20	10	5,0

Примечание. Классы точности: Н — нормальный, П — повышенный, В — высокий, А — особо высокий, С — особо точный

Сравнительные данные по продолжительности обработки шпоночных пазов на обычных станках и станках с ЧПУ приведены в табл 2.

Большинство корпусных деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, требует обработки с двух и более сторон [6, 14, 15]. Около 70% трудоемкости составляют сверление и нарезание резьбы, 20% — фрезерование, 10% — растачивание. Для обработки корпусных деталей применяют обрабатывающие центры (комбайны) с ЧПУ и позиционными или комбинированными системами ЧПУ [6, 7, 10] 2М, «Координата С70-3», ПЗВ и зарубежными системами РА-300, «Алкатель» (Франция) и «Синумерик Сименс» (ФРГ)

2. Нормативное время обработки шпоночных пазов на станках обычного типа и станках с системами ЧПУ при заданной программе в партии [18]

Годовая программа, шт	Время обработки (мин) на станках		Годовая программа, шт	Время обработки (мин) на станках	
	обычного типа	с ЧПУ		обычного типа	с ЧПУ
885	9,3	7,9	1515	10,28	8,74
285	12,44	10,57	675	7,90	6,71
210	10,14	8,62	150	12,10	10,0
180	16,04	15,30	2120	14,43	12,26
8180	7,30	6,2	1835	14,33	12,17

В новых системах ЧПУ применяют перфокарту или ленту шириной 25,4 мм (см раздел «Системы автоматического управления), а программа записывается в коде ИСО-7 бит Считывание производится со скоростью 300—500 строк/с и только для системы «Координата С70-3» — со скоростью 40—50 строк/с (рис. 1).

Одновременно с работой от перфоленты предусмотрена работа с предварительным набором задания вручную [3, 22].

На рис. 2 показаны технологические возможности разных систем ЧПУ. На пульте системы предусматривается табло цифровой индикации Для учета фактического размера инструментов служит табло коррекции размеров.

Системы ЧПУ совершенствуют, вводя в них адаптивное управление.

В настоящее время трудно наметить достаточно стройную систему классификации станков с ЧПУ. Они могут быть подразделены: по технологическим возможностям, по структурному построению, по приводу и физическому построению элементов, по методу измерения и по характеру информации, по форме составления ввода и программы и по ряду других факторов [3].

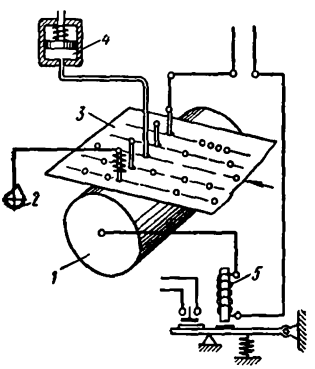


Рис. 1. Упрощенная схема управления от перфоленты или перфокарты:

1 — протяжной барабан; *2* — механическая система, *3* — перфолента, *4* — пневмо или гидросистема, *5* — электросистема

По технологическим возможностям ЧПУ подразделяют на последующие группы (рис. 2). 1) позиционирования или координатной установки (сверлильные, расточные и другие станки, в которых изменение величины или направления движения производится, когда инструмент не находится в контакте с обрабатываемой поверхностью); 2) с движением на каждом отдельном участке обработки только в направлении одной координаты (скорость по другой координате равна нулю) — управлением по пути во время резания (токарные и фрезерные станки, об-

рабатывающие по прямоугольным координатам — наружные прямоугольники, ступенчатые валы и др.); 3) непрерывного слежения или формообразования при обработке сложных контуров, профилей и форм.

Системы ЧПУ для позиционирования различают по способу отсчета координат: программирование в абсолютном отсчете, в приращениях, в декартовых или полярных координатах.

Наибольшим быстродействием должны обладать системы ЧПУ в станках для непрерывного формообразования.

По структурному построению системы ЧПУ можно подразделить на замкнутые и разомкнутые. Замкнутые системы являются числовыми следящими системами с жесткой обратной связью по положе-

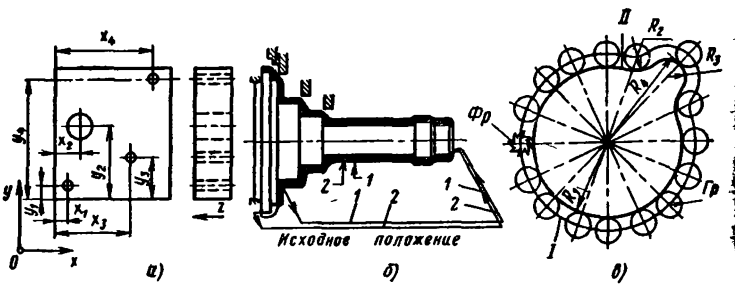


Рис. 2. Операции, выполняемые разными системами ЧПУ:

а — позиционирование; *б* — управление по пути во время резания (прямоугольный цикл); *в* — непрерывное формообразование

нию [3]. Разомкнутые системы без обратной связи, и исполнительные двигатели в них дискретные.

Сигнал управления разомкнутой системы ЧПУ меняется в зависимости от напряжения u и времени $t[u = f(t)]$, а путь l — в зависимости от времени $t[l = f(t)]$.

Разомкнутые системы конструктивно проще замкнутых, которые характеризуются обратной связью между перемещением узлов и управлением, но менее точны, так как в них накапливаются ошибки. Разомкнутые системы программного управления применяют в станках, которые предназначаются для обработки деталей с отклонениями $\pm$ (0,02÷0,05) мм в новых моделях до $\pm$0,01 мм.

Замкнутые системы ЧПУ применяют для точных станков. Практически эти системы могут обеспечить отклонения не более 5—10 мкм.

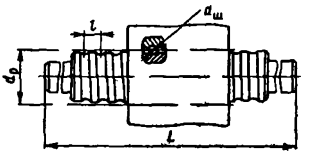
Если перемещение суппорта или стола дискретно и выполняется путем подачи импульсов, имеющих определенное значение, то общий путь (ход в мкм) $l = an$, где a — перемещение за один импульс, мкм; n — число поданных импульсов.

Обычно дискретное перемещение осуществляется шаговым двигателем. Можно использовать шаговый двигатель малой мощности с последующим ее усилением.

Для увеличения точности обработки применяют винт с шариковой гайкой (табл. 3).

По приводу и физическому построению элементов системы ЧПУ подразделяют на электрические, гидравлические, пневматические,

3. Основные параметры и размеры (мм) шариковых передач винт — гайка в соответствии с ОСТ 2Н23—770 (ЭНИМС)



d_0	t	$d_ш$	L 250	315	400	500	630	710	800	1000	1250	1400	1600	2000	2500	Допустимая осевая статическая нагрузка, кгс
(20)	(5)		×	×	×	×										420
25	5	3	×	×	×	×	×									530
32	5	6	×	×	×	×	×	×	×							770
	(10)					◣										1350
40	5	3			×	×	×	×	×	×	×					1000
	10	6				◣		◣		◣						1620
50	5	3				×	×		×	×	×	×				1250
	10											◣				2300
63	10	6					×		×	×	×		×			3050
80	10												◣			4000
	20	10					×		×	×	×		×	×		5500
100	10	6														5000
	20	10								×	×		×	×	×	8650

Примечания: 1. Размеры: × — изготовляемые; ◣ — рекомендуемые. 2. Размеры, заключенные в скобки, применять по согласованию с заводом-изготовителем. Передачи выполняют с правым или левым направлением резьбы.

электронные, полупроводниковые и комбинированные. Наибольшее распространение получили комбинированные системы. Так, шаговые двигатели широко применяются в сочетании с гидравлическими усилителями ввиду большого коэффициента усиления, малых инерционных моментов и благоприятного протекания переходных процессов (табл. 4 и 5). В последнее время известны случаи использования пневматических элементов для системы ЧПУ.

Методы измерения и характер информации в системах ЧПУ различны. Заданное перемещение инструмента или обрабатываемого изделия в системах ЧПУ можно измерять аналоговым и дискретным методами (см. раздел «Системы автоматического управления»).

Шаговые двигатели [2,3] широко используют в качестве исполнительных органов дискретного действия. Они дают возможность создать разомкнутые системы с достаточно высокой статической точностью, которые гораздо проще замкнутых с исполнительным элементом непрерывного действия. Шаговые двигатели при определенном угле поворота вала осуществляют рабочее перемещение узла станка на небольшую величину (10—50 мкм на 1°), отношение крутящего момента к моменту инерции (угловое ускорение) у гидродвигателей примерно в 100 раз больше, чем у электродвигателей; отношение минимальной скорости к максимальной у гидродвигателей может быть до 1 : 1000.

Наибольшие крутящие моменты гидроусилителей 1,2—10 кгс·м [(1,2÷10)10 Н·м] на выходном валу при давлении в системе 50 кгс/см² [$50 \cdot 10^5$ Н/м²] без дросселирования масла в щелях золотника.

По форме составления и ввода программы системы ЧПУ могут быть подразделены на три группы: 1) когда программы составляют в декодированной, 2) в кодированной и 3) в комбинированной форме [3].

Декодированные программы набираются обычно постоянными программоносителями: отсчетными устройствами с упорами или дисками в сочетании с путевыми датчиками. К ним относятся также многопозиционные переключатели, магнитные барабаны и штекерные коммутаторы. В некоторых системах могут быть использованы также и перфорированные карты. Однако они служат главным образом для настройки программы и ее контроля (см. также системы ЦПУ).

Кодированные программы — сменные. Запись программы в кодированной форме производится пробивкой отверстий на перфорированных лентах и картах, путем записи электрических сигналов при перемещении магнитной ленты относительно записывающей головки или засвечиванием определенных сигналов через щели фотопленки

У сменных программоносителей должны быть особенно высокие емкость и быстрота смены программы, малая трудоемкость записи, высокая долговечность и удобство хранения.

В системах ЧПУ, применяемых в станкостроении, обычно используют следующие системы кодирования: десятичную («5×2», «2 из 5»), кодированную десятичную из четырех цифр и двоичную (см. также раздел «Системы автоматического управления»). На рис. 3 показано изображение числа 607 в различных кодах. Для изображения десятичного разряда необходимо не менее четырех цифр, сумма которых не менее 9.

Двоично-десятичный код 8.4.2.1 применяют чаще других, хотя недостаток его в том, что сумма цифр может превышать 9. В связи с с этим широко используют комбинации из цифр 5.1.2.1 или 2 4 2 1.

4. Габаритные размеры (мм) шагового привода

Исполнение	Ширина	Высота	ШД-5Д1	ШД-5Д1М
Э32Г18-22-000	92	112	516	534
Э32Г18-22К-000			519	537
Э32Г18-23-000	110	130	554	572
Э32Г18-23К-000			560	578
Э32Г18-24-000	132	152	612	630
Э32Г18-24К-000			628	646
Э32Г18-25-000	162	182	684	702
Э32Г18-25К-000			711	729

5. Основные характеристики гидроусилителей (ЭНИМС)

Параметр	Э32Г18-22-000 Э32Г18-22К-000	Э32Г18-23-000 Э32Г18-23К-000	Э32Г18-24-000 Э32Г18-24К-000	Э32Г18-25-000 Э32Г18-25К-000
Крутящий момент на выходном валу при номинальном давлении и частоте импульсов:				
200 имп/с	1,6	3,2	6,4	12,8
2000 имп/с	0,8	1,6	3,2	6,6
наибольшей	0,6	1,2	2,4	4,8
Подача масла на 1000 об/мин, л/мин	20	40	80	160
Наибольшая частота импульсов при цене импульса 1,5°, имп/с	8000		4000	
Наибольшая частота вращения, об/мин	2000		1000	
Масса кг	17	22	35	63

Примечание Номинальное давление 63 кгс/см².

6. Устройства числового программного управления для металлорежущих станков (ЭНИМС)

Шифр группы	Система ЧПУ	Число программируемых осей	Число одновременно работающих осей	Привод подачи	Структура системы	Измерительная система	Способ задания программы и индикации	Группа системы
1	Позиционная и прямоугольная П	1	1	Шаговый на 8 кГц	Схема совпадения	Круговой фазовый датчик ВТ	Приращениями без индикации	Агрегатная
2	Непрерывная (контурная) Н	2	2	Следящий	Прямоугольный интерполятор	Кодовый контактный датчик	Приращениями с индикацией	Специализированная ЭВМ
3	Универсальная (комбинированная) У	3	3	Шаговый на 16 кГц			Абсолютный без индикации	Специальная с ограниченными возможностями
4		4	4	Следящий регулируемый	Линейный интерполятор	Линейный магнитный фазовый датчик РС	Абсолютный с индикацией	Специальная с широкими возможностями
5		5	5	Специальный шаговый	Линейно-круговой интерполятор	Фазоимпульсный датчик ДПМ	Комбинированный без индикации	—
6		6	—	Регулируемый	Многопрограммный интерполятор	Фазоимпульсный датчик для станков точности А и С	Комбинированный с индикацией	—
7		7	—	Ступенчатый	Специальный интерполятор	—	—	—
8		—	—	—	—	—	—	—
9		—	—	—	—	Специальные датчики (ХСЗ КЗКРС и др.)	—	—

Код БЦК-5 применяют также во фрезерно-расточном станке МА690Ф4.

Международный двоично-десятичный код ИСО-7 бит (адресный код) наносится на восьмидорожечную перфоленту шириной 25,4 мм (ГОСТ 13052—74). Адреса обозначают прописной буквой латинского алфавита. Кроме адресов, ИСО-7 бит имеет служебные и резервные символы [17]. Во избежание ошибок в записи программы проверяют ее правильность.

Существует несколько способов контроля правильности записи программы. Наиболее удобным является способ, где применяется аппарат, в котором предусмотрена автоматическая проверка набора кадра при вторичной пробивке по первичной информации

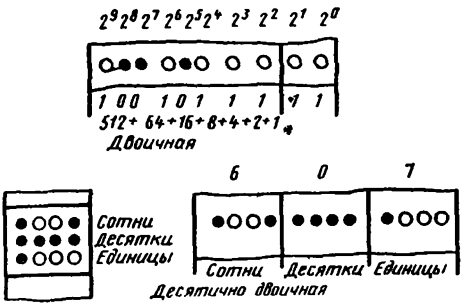


Рис 3 Набор числа 607 разными методами кодирования



Рис. 4. Направление основных координат

Символы *X*, *Y* и *Z* означают линейные перемещения вдоль основных координатных осей станка.

Символами A, B и C обозначаются вращательные движения вокруг осей, параллельных соответственно осям *X*, *Y* и *Z*.

Для выбора станков с ЧПУ служат карты технических характеристик В них приводят полный шифр станка с указанием класса точности Все станки с ЧПУ после шифра имеют букву Ф, причем Ф1Ц — система с цифровой индикацией, Ф2 — с позиционными или прямоугольными циклами обработки, Ф3 — с контурными прямолинейными или криволинейными системами, Ф4 — с универсальной системой, т е. для позиционной и контурной обработки.

В табл. 6 приведены устройства ЧПУ для металлорежущих станков Указанные на некоторых картах специальные устройства ЧПУ, созданные заводами-изготовителями станков, в таблицу не вошли. В настоящее время разрабатываются новые устройства ЧПУ, поэтому приведенные здесь сведения не являются исчерпывающими и окончательными.

Пример. Обозначение типового устройства ЧПУ Н332 расшифровывается следующим образом Н — непрерывная система, 3 — с тремя координатами, 32 — с регулируемым приводом.

СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ

В настоящее время применяют устройства ЧПУ [8]: Н331, Н332, У221, У331, выполненные по агрегатному принципу. Их сочетают с узлами: ввода и вывода с шаговым двигателем ($В_1$), со следящим приводом ($В_2$); линейно-круговой интерполяции Н; индикации и памяти положения Ц; автоматического расчета эквидистанты Э. В этих системах используют шаговые двигатели ШД или следящие-регулируемые КПТМ, ЭТШР. В системах со следяще-регулируемым приводом в качестве датчиков применяют вращающиеся трансформаторы ВТМ-1М с делением фазы на 200 или вращающийся винт ДЛМ-11 с делением фазы на 100. Системы третьего поколения на интегральных схемах «Логика-2» (Н221М, Н331М, Н332М, П321М) предназначаются для токарных, фрезерных, сверлильных станков с автоматической сменой инструмента. Устройства Н531, Н532, У521 и П522 — наиболее универсальные системы на интегральных схемах.

Назначение систем ЧПУ следующие: П323 — позиционирование и прямоугольное формообразование с абсолютным заданием размеров на расточных, карусельных станках, обрабатывающих центрах; П323А — точное позиционирование и прямоугольное формообразование с вводом программы в абсолютных координатах на координатно-расточных станках типа А, В, С; П522 — позиционирование для расточных, карусельных станков и обрабатывающих центров; Н221М — непрерывное слежение для токарных станков с поворотной резцедержавкой; Н331 («Контур 5П») — непрерывное слежение для фрезерных станков с линейно-круговой интерполяцией; Н331М — непрерывное слежение для фрезерных станков с револьверной головкой с линейно-круговой интерполяцией; Н332 («Контур 5П») — непрерывное слежение для фрезерных станков с обратной связью ВТМ-1М; Н332М — непрерывное слежение для фрезерных станков с револьверной головкой; Н531 — непрерывное слежение для токарных и фрезерных станков с автоматической сменой инструментов; Н532 — непрерывное слежение для токарных и фрезерных станков с автоматической сменой инструмента с обратной связью ВТМ-1М; Н551 — непрерывное слежение для сложных многокоординатных станков, построенных по принципу ЭВМ; Н552 — непрерывное слежение с обратной связью ВТМ-1М для сложных многокоординатных станков со следящим приводом (построена по принципу ЭВМ); У221 — непрерывное слежение для токарных станков с автоматической сменой инструмента; У331 (ЗИГ—ЗАГ) — непрерывное слежение для фрезерных станков с автоматической сменой инструмента; У332 (ЗИГ—ЗАГ) — непрерывное слежение с обратной связью для фрезерных станков, обрабатывающих центров с автоматической сменой инструмента; У521 — непрерывное слежение для сложных многокоординатных станков (построена по агрегатному принципу); У522 — непрерывное слежение с обратной связью для сложных многокоординатных станков (построена по агрегатному принципу).

Перспективное направление работ в области устройств ЧПУ для сложных станков и обрабатывающих центров по материалам ЭНИМС — переход к устройствам типа CNC (на основе малых ЭВМ).

Мнемонические изображения на пультах устройств числового программного управления приведены в работе [12].

Для подготовки и контроля управляющих программ служат следующие устройства: «Программа Л-68», УНДЛ «Брест-ЛТ», двухкоординатное графическое устройство ДГУ-2, устройство для контроля программы УКП-1М [22].

Все новые устройства ЧПУ выполняются по РТМ, разработанным ЭНИМСом и ГОСТам.

Работы по устройствам CNC ведутся с применением микропрограммных автоматов М6010 и ЭВМ со свободным программированием М6000 и др.

Создание запоминающих уствойств на больших интегральных микросхемах и микропроцессорах позволило осуществить переход от жестких схем релейной и бесконтактной цикловой автоматики станков и АЛ к более надежным программируемым командоаппаратам, позволяющим быстро отыскать места и причины неисправности, а также ликвидировать их.

СОСТАВЛЕНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Составление программы приводится на примере фрезерно-расточного станка с ЧПУ МА690Ф4 и сверлильных станков 2Н55ЦФ2, 2Н118Ф2, 2К135Ф2, 2Р118Ф2 и 2Р135Ф2 [15, 16, 17].

Станок МА690Ф4 ЭНИМС — фрезерно-расточный станок с ЧПУ типа «обрабатывающий центр», служит для обработки корпусных деталей шириной 125—500 мм. На станке выполняется фрезерование плоскостей и контуров, сверление, нарезание резьб, растачивание. Станок может быть установлен в автоматические линии. Нулевые точки и максимальные перемещения узлов станка с учетом блокировок по спутнику приведены на рис. 5.

Технические данные станка МА690Ф4

Мощность главного привода, кВт	14
Число ступеней вращения шпинделя	18
Мощность приводов подач, кВт	2
Предельные усилия, допускаемые механизмами подач, кгс	1000
Пределы рабочих подач, мм/мин	4,3—4000
Скорость быстрого хода, м/мин	4,8
Число координат	4
Максимальные перемещения по координатам (без учета зоны ограничений), мм:	
X	780
Y	490
W	660
B	Не ограничено

Станки МА690Ф4 со следяще-регулируемыми приводами оснащены управляющими машинами УМС—2М 1212 с линейно-круговым интерполятором.

Для кодирования программы применен двоично-десятичный адресный код БЦК-5. При этом каждое геометрическое или технологическое понятие перед своим значением имеет адрес, после которого идет определенное число строк. Например, после адреса Е должно быть шесть строк: одна — знак перемещения и пять — числовая информация.

В УМС используются восемь одинарных адресов Е, Д, Т, К, П, Ш, Я, Н и шесть двойных адресов В1, В2, В3, В4, В5 и В6.

Каждый из восьми адресов УМС означает: Е — перемещение по оси X; Д — перемещение по оси Y; Т — отказ от перемещения (применяется для формирования режима выдержки времени, а также указывает координату по оси X начальной точки дуги окружности); К — координату по оси Y начальной точки дуги окружности; П — задание рабочей скорости, быстрого хода и точности позиционирования; Ш — задание эквидистанты и дуг окружности; Я — в комбинации с адресом Е — перемещение по осям W, Z, B; Н — конец кадра; В1 — ввод и вывод номера блока коррекции по координатам W и Z; В2 — задание номера блока коррекции радиуса фрезы; В3 — задание номера частоты вращения; В4 — задание номера инструмента; В5 — задание технологических команд; В6 — задание порядкового номера кадра.

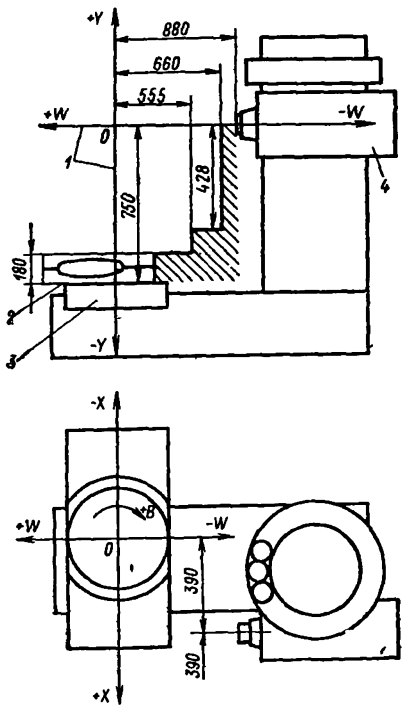


Рис. 5. Установочные размеры станка МА690Ф4:

1 — неподвижная система координат; *2* — плоскость стола; *3* — стол, подвижный по осям X и W; *4* — бабка, подвижная по оси W

Режимы работы УМС: 1) с автоматическим расчетом эквидистанты (траектории центра фрезы); 2) с автоматическим расчетом и коррекцией эквидистанты. Режим работы устанавливается оператором с помощью тумблера перед началом работы станка по программе; следовательно, программа должна быть составлена применительно к одному из режимов работы УМС

В режиме без автоматического расчета эквидистанты УМС отрабатывают перемещения типа «прямая» и «окружность».

В режиме с автоматическим расчетом эквидистанты УМС отрабатывают шесть видов перемещений: 1) «прямая» отрабатывается так же, как и в режиме без автоматического расчета эквидистанты; 2) выход на эквидистанту — прибавляется; 3) вывод на эквидистанту — вычитается; 4) «окружность» — прибавляется; 5) «окружность» — вычитается; 6) сопряжение дуги.

Программирование перемещений по осям X и Y может быть в режиме рабочего хода и в режиме быстрого хода (БХ). Дискретность перемещения на рабочей подаче 0,01 мм, на быстром ходу 0,1 мм.

За адресом Е или Д следует символ 0 или 1; 0 — перемещение в положительном, 1 — в отрицательном направлении оси.

За знаком перемещения следует пять знаков числовой информации, т. е. величина перемещения или приращение. Например, при дискретности перемещения 0,1 мм в режиме быстрого хода положительное перемещение по оси *X* на 84,3 мм запишется как Е 000 843, отрицательное — как Е 100 843. Такие же перемещения по оси *Y* записываются соответственно так: Д 000 843 и Д 100 843.

Перемещение с подачей задается адресом П (П01, П02, П03): П01 — означает разгон в начале отработки кадра на заданную в этом адресе подачу, П02 — торможение в конце отработки кадра на заданную подачу; П03 — разгон и торможение в одном кадре на заданную величину подачи.

После указания адреса П и признака разгона или торможения указывается изменение номера (величины) подачи в восьмеричной системе.

УМС отрабатывает перемещения с подачей, которая имеется в его памяти. Если в следующем кадре нужна бóльшая по сравнению с предыдущей подача, то увеличение подачи задается командой П01 с указанием величины приращения подачи. Если величина подачи в последующих перемещениях не изменяется, то адрес П с указанием номера подачи программировать не нужно. Если же нужна меньшая подача, то уменьшение подачи задается командой П02 с указанием величины уменьшения подачи.

Пример использования команд П01, П02 и П03 для задания номера подачи показан на рис. 6. По оси ординат на этом графике отложены номера подач, по оси абсцисс — номера кадра. Разгон или торможение (П01 или П02) могут происходить на участке не меньше 50 единиц дискретности, или 0,5 мм.

Перемещение в режиме БХ со скоростью 4,8 м/мин задается командой П1000. Минимальный участок, на котором можно задать БХ, должен быть не менее 60 мм. При БХ дискретность равна 0,1 мм.

Например, положительное перемещение на 455 мм по оси *X* в режиме БХ записывается так: Е004550, П1000 по оси *Y* — Д004550 П1000. Адрес П1000 необходимо указывать в каждом кадре, где необходим режим БХ. Одновременное перемещение на рабочих скоростях можно осуществлять в плоскостях *XY* и *YW* под любым углом.

Перемещение по осям *X* и *Y* в режимах *БХ* УМС отрабатывается путем одновременного перемещения в плоскостях *XY* и *YW* только под углом 45°.

При программировании одновременного перемещения в кадре задается: по оси *X* — знак и величина перемещения, по оси *Y* — только знак перемещения. В случае положительного перемещения по оси *Y* адрес Д опускается совсем.

Признаком одновременного перемещения по осям *X* и *Y* являются индексы 2 и 3, которые ставятся вместо индексов 0 или 1, следующих за адресом Е. Пример записи всех возможных одновременных перемещений под углом 45° из точки *A* по осям *X* и *Y* на 300 мм в направлениях *I*, *II*, *III*, *IV* в режиме БХ показан на рис. 7. Если БХ по координатам не равны, например из точки *A* в точку *B* нужно пройти по оси *X* на 250 мм в «+», а по оси *X* на 150 мм в «—» (рис. 8) Выделяем координату с меньшим по абсолютной величине перемещением и проходим этот путь под углом 45° с учетом направления пере-

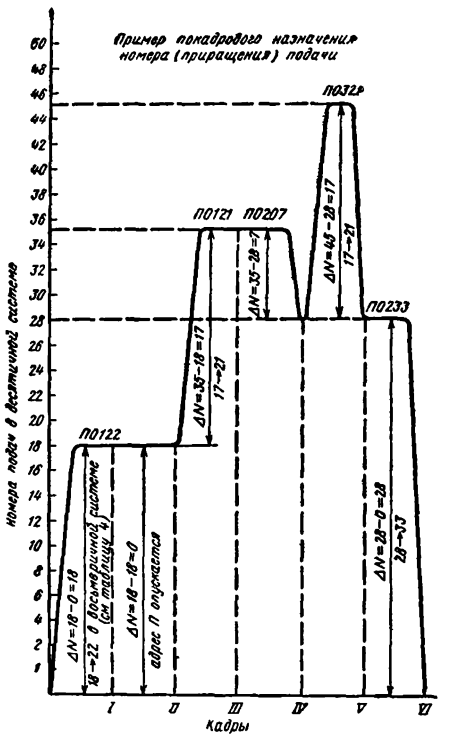


Рис. 6. Использование команд П01, П02 и П03 для задания номера подачи

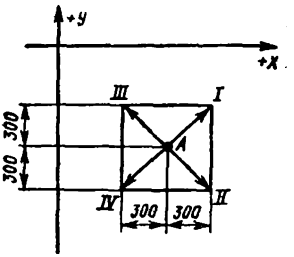


Рис. 7. Запись всех возможных одновременных перемещений под углом в 45° из точки *A* по осям *X* и *Y* на 300 мм

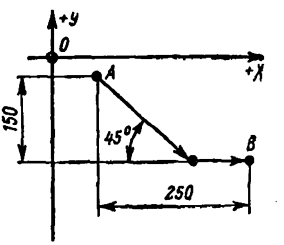


Рис. 8. Запись БХ из точки *A* в точку *B* по оси *X* на 250 мм в «+», по оси *Y* — на 150 мм в «—»

мещения по другой координате. В нашем случае перемещение по оси *Y* меньше, чем по оси *X*. Путь, который осталось пройти по координате *X*, составляет 100 мм (250—150). Итак, перемещение из точки А в точку В запишется в виде двух кадров:

```
ЭВ6001    Е201500    Д100000    П1000    Н00
ЭВ6002    Е001000    П1000      Н00
```

Необходимо следить за тем, чтобы любое перемещение БХ было не меньше 60 мм.

Программирование перемещения по оси *W*. Перемещение по оси *W* во всех режимах задается адресами Е и Я. Направление перемещения задается индексом 0 в случае положительного перемещения (расстояние между центром стола и торцом шпинделя увеличивается) и индексом 1 в случае отрицательного перемещения. Величина и скорость перемещения задаются так же, как для перемещения по осям *X* и *Y*. Например, положительное (или отрицательное) перемещение на подаче № 22 на расстояние 58 мм запишется

```
E005800     Я1     П0322
E105800     Я1     П0322
```

Положительное (или отрицательное) перемещение в режиме БХ на величину 450 мм запишется:

```
E004500     Я1     П1000
E104500     Я1     П1000
```

Нельзя программировать одновременное перемещение по W во всех режимах с перемещением по оси X, так как в этом случае в одном кадре будут заданы два одинаковых адреса, а именно адрес Е. Можно программировать одновременное перемещение по осям W и Y

Программирование перемещений по оси Z. Перемещение пиноли по оси Z во всех режимах задается адресами Е и Я3. Направление перемещения задается индексами 0 или 1, стоящими после индекса Е: 0 — положительное перемещение (расстояние от центра стола до торца шпинделя увеличивается, т. е. пиноль вдвигается в шпиндель); 1 — отрицательное перемещение (расстояние от центра стола до торца шпинделя уменьшается, т е пиноль выдвигается из шпинделя) По оси W совершаются установочные перемещения, а по оси Z — рабочие. Это расширяет возможности подхода инструмента к детали. Однако необходимо помнить, что при смене инструмента необходимо вернуть пиноль в начальное «нулевое» положение и зажать ее командой В518. Например, кадр № 1 запишется как В3001, кадр № 22 — как В6022 и т. д. Каждый кадр заканчивается адресом Н, после которого пробиваются два нуля или более Н00 означает конец кадра. Для проверки правильности ввода данного кадра в УМС производится контроль суммы числового значения вводимой информации по модулю 9.

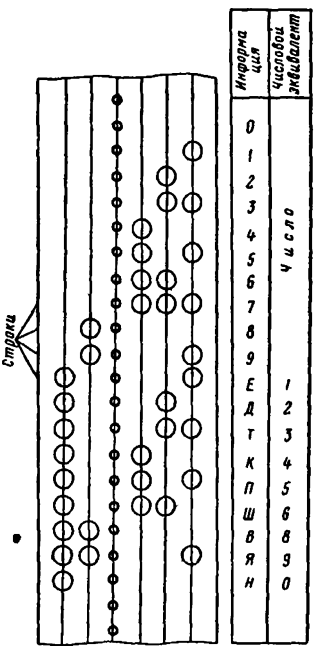


Рис. 9. Расположение информаций на перфоленте

Расположение информации на перфоленте. В УМС-2М 1212 и УМС-2М 1213 применяется пятидорожечная перфолента. Информация наносится на ленту в восьмеричной системе пробивкой отверстий На рис 9 приводится расположение числовой информации и адресов на перфоленте Отверстия меньшего диаметра служат для перемещения ленты и обозначения строк. Отсутствие в строке отверстий большого диаметра означает ноль.

Программирование технологических и вспомогательных команд. УМС обеспечивает передачу на станок трех групп технологических и вспомогательных команд, задаваемых адресами· В3 — номер частоты

вращения; В4 — номер инструмента; В5 — вспомогательные команды, которые записываются в кодированном виде следующим образом.

Вид команды	Запись в кодированном виде
Безусловный технологический останов	B500
Условный технологический останов . . .	B501
Конец программы	B502
Вращение шпинделя по часовой стрелке (правое вращение)	B503
Вращение шпинделя против часовой стрелки (левое вращение)	B504
Останов шпинделя	B505
Смена инструмента	B506
Включение охлаждения туманом . . .	B507
Выключение охлаждения туманом . . .	B508
Разжим по координате X	B520
Зажим по координате X	B521
Разжим по координате Y	B522
Зажим по координате Y	B523
Разжим по координате W	B524
Зажим по координате W	B525
Разжим по координате B	B526
Зажим по координате B	B527
Разжим по координате Z	B512
Зажим по координате Z	B518
Общий разжим по координатам X, Y, W	B528

Примечание. Команды, задаваемые адресом В5, программируются отдельным кадром, например 6B001, B520, H00.

Адреса В3 и В4 могут быть заданы одновременно с перемещениями по осям X, Y, W, Z или в так называемом режиме выдержки времени. Это время необходимо для срабатывания релейной автоматики. Режим «Выдержка времени» соответствует перемещению по оси X, которое гасится командой Т100000.

Количество дискрет, соответствующих некоторой задержке времени,

$$S = \frac{v_0 t}{0{,}6}.$$

Например, выдержка времени записана в виде

3B6022	E0	00010	T100000	H00
	X	Величина перемещения	Гашение перемещения	Конец кадра
	Знак может быть любым	10 дискрет		

Она составляет

$$t = \frac{10 \cdot 0{,}6}{4{,}2} = 1{,}4 \text{ с}.$$

Примечание. Нулевая подача $V_0 = 4{,}2$ мм/мин не программируется. Если в УМС задан какой-либо номер подачи, то необходимо перед заданием «Выдержка времени» командой П02 подачу довести до нулевой (сбросить имеющийся в памяти УМС номер подачи). Для задания номера инструмента или номера частоты вращения шпинделя необходима выдержка времени не менее 0,5 с (если они задаются отдельно от перемещений). Номера инструментов могут быть от 1 до 32.

Пример задания инструмента № 12 в режиме «Выдержка времени»

7B6012	E000010	T100000	B412	H00;

тот же инструмент одновременно с перемещением по оси Y в «минус» на величину 246 мм на БХ:

```
1B6012      Д102460      П1000      B412      H00
```

Номер частоты вращения шпинделя задается адресом В3, после которого ставится номер требуемой угловой скорости шпинделя.

Пример задания частоты № 8 в режиме «Выдержка времени»

```
3B6012      E000010      T100000      B308      H00
                 Выдержка времени
```

Та же частота вращения одновременно с перемещением по оси Y в «минус» на 450 мм на БХ запишется так:

```
0B6012      Д104500      П1000      B808      H00
```

Включение частоты вращения по программе должно происходить не менее чем за 5 с до начала резания, так как это время необходимо для разгона шпинделя до назначенной частоты. Станок имеет также нулевую частоту В300, которая применяется для остановок шпинделя. Программирование вспомогательных команд осуществляется при помощи адреса В5, после которого идет номер вспомогательной команды. В кадре с адресом В5 не может быть других адресов за исключением адреса номера кадра В6.

Например, разжим по оси Y запишется:

```
2B6012      B522      H00
```

разжим по оси X запишется:

```
3B6013      B520      H00
```

Вспомогательные команды, задаваемые адресом В5, программируются самостоятельным кадром.

Номера гнезд для инструментов в магазине задаются адресом В4 Например, номер 32 записывается как В432.

Частота вращения шпинделя задается адресом В3. Например, частота вращения шпинделя 40 об/мин записывается в кодированном виде как В309, а 100 об/мин — как В318.

Команда, задаваемая адресом В3, подается в режиме «Выдержка времени» или совместно с каким-либо перемещением.

Смена инструмента происходит только в нулевой точке $Y = 0$, поэтому перед сменой необходимо программировать перемещение шпиндельной бабки в нулевую точку. Перед этим перемещением вращение шпинделя должно быть выключено командой В300, задаваемой в режиме «Выдержка времени», так как может произойти удар захватывающих губок руки о шпонки шпинделя.

Перед сменой на этих станках останавливать вращение шпинделя необязательно, так как он выключается автоматически.

Коррекция на длину инструмента по оси W. Коррекция — это дополнительное перемещение по оси W, в «плюс» или «минус», обеспечивающее получение требуемого размера на обрабатываемой детали без изменения управляющей программы.

УМС имеет девять блоков коррекции с номерами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Максимальная величина коррекции составляет ± 999 единиц

дискретности, т. е. ±9,99 мм. Кадр ввода коррекции предшествует кадру, где программируется рабочее перемещение по оси W. Ввод коррекции осуществляется командой В10, после которой указывается номер блока коррекции.

Коррекция на радиус инструмента возможна только при работе УМС в режиме «Автоматический расчет эквидистанты». Если требуется

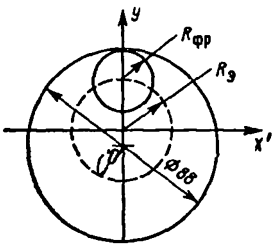


Рис. 10. К примеру на с. 472

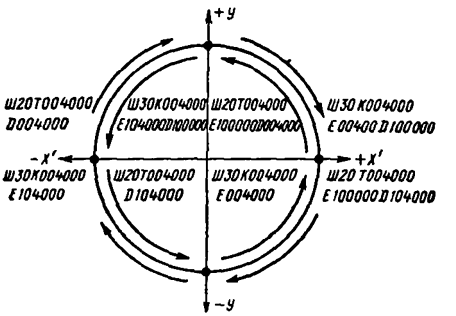


Рис. 11. Трафарет программирования окружности в режиме без автоматического расчета эквидистанты (снаружи — для движения по часовой стрелке, внутри — против часовой стрелки)

инструментом обработать участки дуг или окружности, то необходимо размер инструмента, устанавливаемый на пульте управления УМС оператором перед началом обработки, вводить специальным кадром в управляющей программе с адресом В2 (после которого ставится номер блока коррекции, с которым связан данный инструмент) Количество блоков коррекции —9. Максимальная величина коррекции — 9999 ед. дискретности, т. е. 99,99 мм. Номер блока коррекции вводится отдельным кадром до кадра выхода на эквидистанту, содержащую команду Ш02 или Ш03.

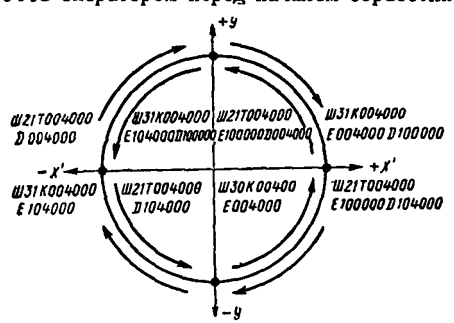


Рис. 12. Трафарет для программирования окружности «Вычесть» или «Прибавить»

Пример. Требуется расфрезеровать окружность концевой фрезой направление движения по часовой стрелке (рис. 10).

Порядок составления управляющей программы приведен далее.

1 Указываем № 5 в блоке коррекции, с которым будет работать концевая фреза: 3В6022В205Н00. Номер блока коррекции оператор устанавливает перед началом обработки детали, должен установить величину радиуса фрезы.

2. Осуществляем перемещения для вывода фрезы в центр окружности (быстрые перемещения по осям *X*, *Y*, *W*).

3. Выходим на эквидистанту — вычитаем (точка *А*): 3.В6026 Ш03 Д0044 00 П0140Н00.

Выходим на эквидистанту — вычитаем.

4 Программируем дугу в квадранте I (см. рис. 7) командой Ш31 — окружность вычитаем: 6 В6027 Ш31 К004400 Е004400 Д100000 Н00.

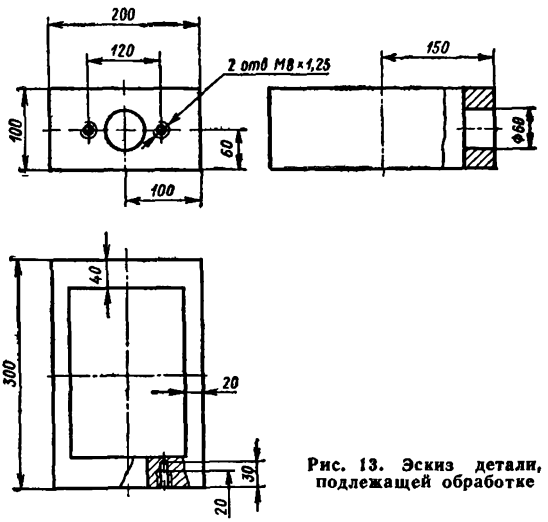


Рис. 13. Эскиз детали, подлежащей обработке

5 Программируем дугу в квадранте IV: 5 В6028 Ш21 Т004400 Е100000 Д104400 Н00 (скорость остается прежней).

6 Программируем дугу в квадранте III: У В6029 Ш31 К004400 Е104400 НС0.

7 Программируем дугу в квадранте II: 5 В6030 Ш21 Т004400 Д004400 П0240Н00.

8 Выходим в центр (точка 0) в режиме «Выход на эквидистанту» — вычитаем: 3 В6031 Ш03 Д1 04400 П0377 Н00.

Работая одной и той же фрезой, но устанавливая различные радиусы на блоке коррекции, связанном с данным инструментом, можно получить различные окружности при установке в блоке

Построение эквидистантного контура. Основной контур обрабатываемой детали должен состоять только из дуг окружности и прямых. Если контур детали строится какими-либо другими кривыми, они должны быть аппроксимированы прямыми и дугами.

Программирование перемещения типа «окружность» в режиме без автоматического расчета эквидистанты. Окружности программируются так же, как и в режиме с автоматическим расчетом эквидистанты.

На рис. 11 показан трафарет программирования окружности в режиме без автоматического расчета эквидистанты: снаружи для движения по часовой стрелке, внутри — против часовой стрелки.

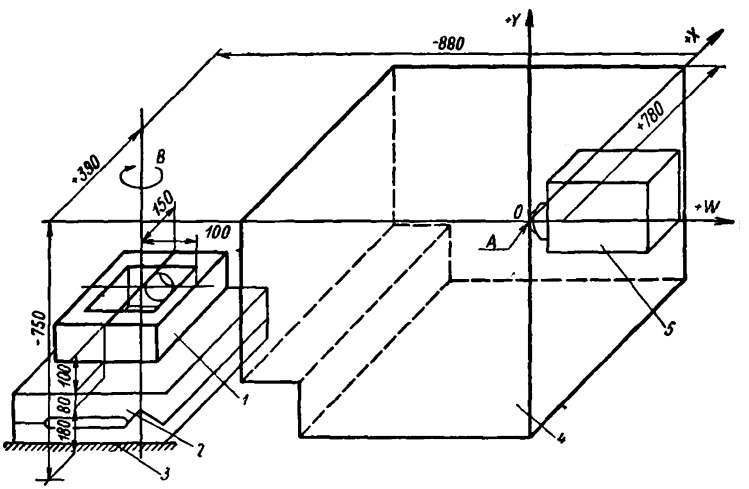


Рис. 14. Установка деталей на станке МА690Ф4:

1 — обрабатываемая деталь; *2* — спутник, *3* — плоскость поворотного стола; *4* — зона возможных перемещений точки *A*; *5* — бабка станка

7. Технологический процесс обработки образца

Переход	Инструмент	Диаметр инструмента, мм	№ гнезда	Коррекция R, мм	Коррекция l, мм	Настроечный радиус, мм
Установить деталь плоскостью *А* к шпинделю: фрезеровать плоскость *А*	ФТПТ	160	3	0		160
Повернуть деталь на 90°: фрезеровать плоскость *Б* в размер 150	ФТПТ					
расфрезеровать отверстие 060	ФКПТ	40	5		0	190
зацентровать два отверстия (М8×1,25)	СЦБ	20	6	0	2	160
сверлить два отверстия (М8×1,25)	СНБ	6,7	7	0	0	145
нарезать резьбу М8×1,25	МБ	8×1,25	8			325

На рис. 12 показан трафарет программирования окружности «вычесть» или «прибавить».

Пример составления программы в коде БЦК проследим для случая обработки образца по рис. 13 и 14. На детали габаритами 300×200××100 мм необходимо обработать плоскости *А* и *Б* в один проход по глубине, расфрезеровать отверстие и нарезать резьбу.

Технологический процесс обработки детали приведен в табл. 7.

СОСТАВЛЕНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА

Данные о сверлильных станках (ЭНИМС) 2Н55ЦФ2, 2Н118Ф2, 2Н135Ф2, 2К135Ф2, 2Р118Ф2 и 2Р135Ф2.

Выбор нулевой точки должен обеспечить отсчет координат по осям *X* и *Y* только положительного значения и от единых баз (рис. 15). Сверлильные станки имеют большей частью систему ЧПУ «Координата-С70».

Технические данные системы «Координата-С70»

Формат	№ 3
Программоноситель	Восьмидорожечный 25,4 мм
Кодирование	ИСО
Форма выдачи команд	Замыкающие контакты реле на 30 команд
Смещение начала отсчета	2×99.999
Элементная база	«Урал-10»
Скорость БХ, мм/мин	До 4000
Питание	380 В, 50 Гц
Габариты, мм	697×528×1900
Масса, кг	350

У системы «Координата С-70» предусмотрены ручное безразмерное управление и ручной ввод данных.

По чертежу обрабатываемой детали, приведенному к единству баз и правильному выводу нулевой точки, данные по значениям *x* и *y* и траектории движения инструмента заносят в специальный бланк — исходный документ для изготовления программоносителя.

Информацию о координатах *x* и *y*, о направлении перемещения, о номере цикла, вспомогательные данные и контрольные числа сводят в кадр. Для проверки правильности записи программы определяют контрольное число, модуль которого равен 9. Подсчитывают сумму цифр текущего значения координаты (без учета сотых долей миллиметра), делят на 9. Разница между остатком и модулем является контрольным числом: $R_x = \frac{\Sigma A_x}{9}$; $R_y = \frac{\Sigma A_y}{9}$.

Для вертикальных сверлильных станков с револьверной головкой 2Р118Ф2 и 2Р135Ф2 построение кадра такое же, как и приведенное ранее. Дополнительно должен быть

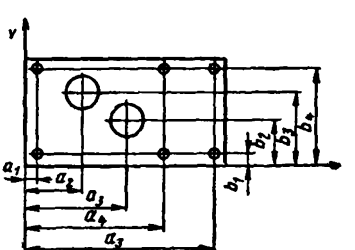


Рис. 15. Пример выбора нулевой точки у единых баз для сверлильных станков

запрограммирован код циклового блока на смену инструмента (поворот револьверной головки). В каждом цикле смена инструмента может производиться от меньшего к большему (например, в 2, 3, 4, 6, но не 6, 4, 2, 3).

СТАНКИ-КОМБАЙНЫ (ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ ЦЕНТРЫ, МНОГОЦЕЛЕВЫЕ СТАНКИ)

В типаже станков МС и ИП (рис. 16) представлено большое количество моделей отечественных токарных, сверлильных фрезерных, расточных, шлифовальных и других типов станков с ЧПУ, включая станки-комбайны (обрабатывающие центры, многоцелевые станки)

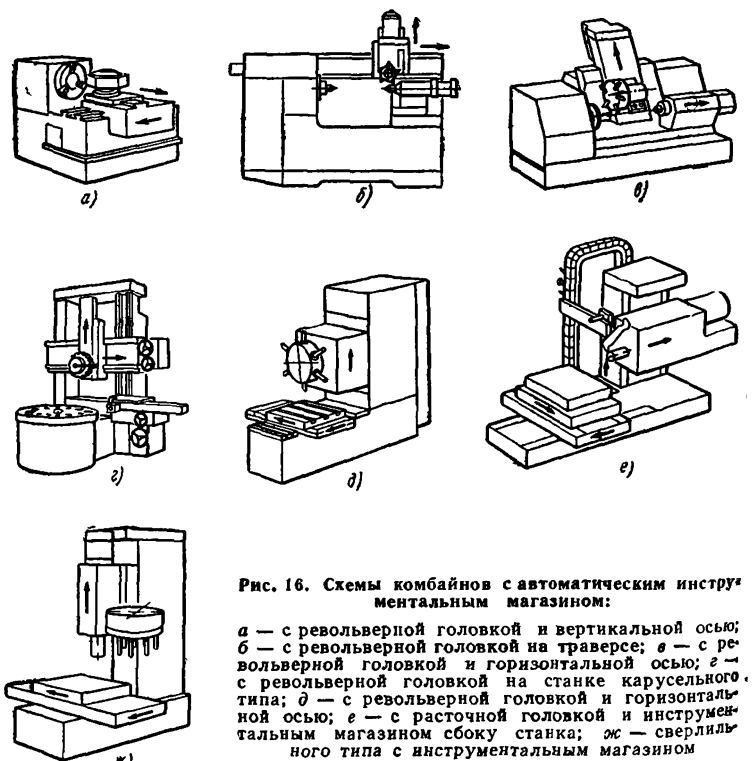


Рис. 16. Схемы комбайнов с автоматическим инструментальным магазином:

а — с револьверной головкой и вертикальной осью; *б* — с револьверной головкой на траверсе; *в* — с револьверной головкой и горизонтальной осью; *г* — с револьверной головкой на станке карусельного типа; *д* — с револьверной головкой и горизонтальной осью; *е* — с расточной головкой и инструментальным магазином сбоку станка; *ж* — сверлильного типа с инструментальным магазином

с инструментальными магазинами и автоматической сменой инструментов [4, 7, 9 и 13].

В качестве инструментальных магазинов используются разные конструкции: от индексируемых револьверных головок на четыре-

восемь инструментов до сложных цепных и барабанных устройств на 30—100 инструментов. Комбайны резко расширили технологические возможности станков и работают в режимах, близких к наиболее рентабельным. Смена инструмента производится за 3—10 с, что позволяет снизить продолжительность вспомогательных операций.

Рассмотрим несколько комбайнов с ЧПУ.

На рис. 17 приведена схема подачи по каждой из трех координат ЧПУ вертикально-фрезерного станка 6Р11Ф3. В качестве системы управления использована системы «Контур 4МИ» и шаговый привод, состоящий из шагового двигателя, насосной станции, золотника управления, гидроусилителя момента, беззазорного редуктора и шариковой пары винт—гайка. Сигналы считываются с магнитной ленты и поступают в ШД, который через гидроусилитель и редуктор вращает ходовой винт. Система ЧПУ предусматривает возможность одновременного управления по трем координатам. Возврат рабочих узлов в исходное (нулевое) положение осуществляется от устройства с фотодатчиком.

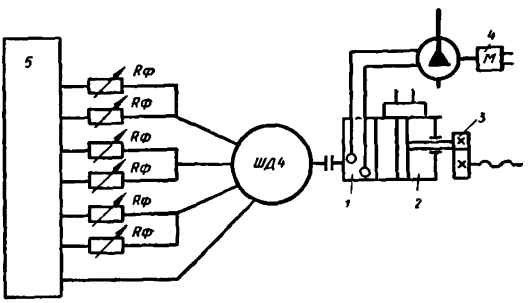


Рис. 17. Схема привода подачи по каждой координате станка 6Р11Ф3:

1 — золотник управления; *2* — гидроусилитель; *3* — редуктор; *4* — насосная установка 18Г48-224 (Q = 25 л/мин); *5* — «Контур 4МИ»

Во фрезерном станке МА-655 (ЭНИМС) применена система УМС2Ф — модификация системы ЧПУ с учетом специфических требований к фрезерным станкам с тиристорным приводом. В качестве следящей системы ЧПУ используется импульсно-фазовая система с датчиком перемещения вращающегося трансформатора. Система УМС2Ф обеспечивает ЧПУ трехкоординатного фрезерного станка с одновременным управлением по любым из двух координат, рассчитывает эквидистантный контур, учитывая радиус фрезы, а также выполняет линейную и круговую интерполяцию. В системе предусмотрен блок коррекции, который повышает точность обработки и производит по той же программе черновое и чистовое фрезерование, а также позволяет применять немерную фрезу.

В станке этой же модели с магазином на 8 инструментов, автоматической сменой и закреплением инструментов применены шаговые системы привода и числового управления (рис. 18).

В этом станке имеется дополнительная система программного управления для магазина, автооператора и механизма зажима инструмента по циклограмме: 1) магазин — вверх, вниз, поворот (выбор инструмента); 2) двухзахватный автооператор — поворот на 90°, на 180°, вверх, вниз; 3) ползун — в позиции загрузки, в рабочее положение, открепление инструмента, закрепление инструмента.

Пример многоинформационных СУ — автоматизированная транспортно-складская система (АТСС) общего назначения, обслуживающая в серийном производстве различные комплекты станочного оборудования (разработана Оргстанкинпромом) [17, 18]. АТСС обслуживает участок из шести станков с ЧПУ (в том числе один станок 6Р13Ф3) с САУ (рис. 19). Она автоматизирует операции приема, хранения и многооперационного транспортирования обрабатываемых деталей (типа корпусов, кронштейнов, рычагов, крышек и т. д.), подачу технологической оснастки и инструмента, а также выполнение погрузочно-разгрузочных функций на рабочих местах. Все эти операции выполняются заблаговременно в соответствии с планом и при непрерывной подаче информации о ходе производства для его регулирования.

АТСС состоит из транспортеров, трехъярусного стеллажа-накопителя, автоматического крана-штабелера, а также из центрального

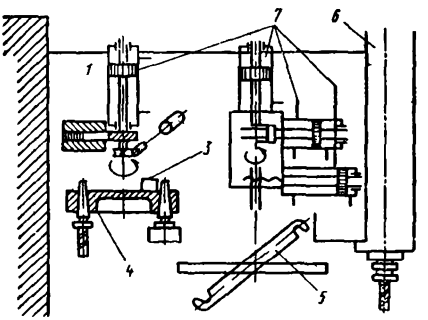


Рис. 18. Схема фрезерного станка с ЧПУ и автоматической сменой инструмента (модель МА655МФ3):

1 — механизм фиксации магазина; *2* — гидродвигатель поворота; *3* — устройство поиска; *4* — диск магазина; *5* — автооператор; *6* — ползун; *7* — гидроцилиндры

диспетчерского пункта с пультом управления световым табло и необходимой связью с рабочими местами участка. АТСС может работать в трех режимах: автоматическом от ЭВМ, полуавтоматическом (программное управление с информацией от стандартных перфокарт) и в режиме управления от диспетчерского пульта.

Работа участка с АТСС в автоматизированном режиме осуществляется в следующем порядке. Партия заготовок устанавливается на транспортер приема и доставляется в зону действия штабелера. По команде с ЭВМ, поступающей на пульт управления, штабелер берет тару с транспортера и устанавливает ее в одну из ячеек накопителя. Когда соответствующий станок освобождается, информация об этом поступает на ЭВМ, откуда на центральный пульт управления подается команда о транспортировании штабелером очередной партии деталей с инструментом и оснасткой в зону загрузки и на рабочий стол. По окончании обработки предыдущей партии (или оснастки на новую деталь) стол перемещается на одну ячейку, и тара с готовой продукцией (или пустая) поступает в зону выгрузки, а оттуда по команде передается в накопитель или на транспортер выдачи АТСС.

АТСС — универсальная система, предназначена для транспортирования грузов до 0,5 кг габаритом 750×550×350 мм, обслуживает участок площадью 42×9 м. Наибольшая маршевая скорость крана-штабелера 60 м/мин при скорости подъема грузов 8 и 2,6 м/мин.

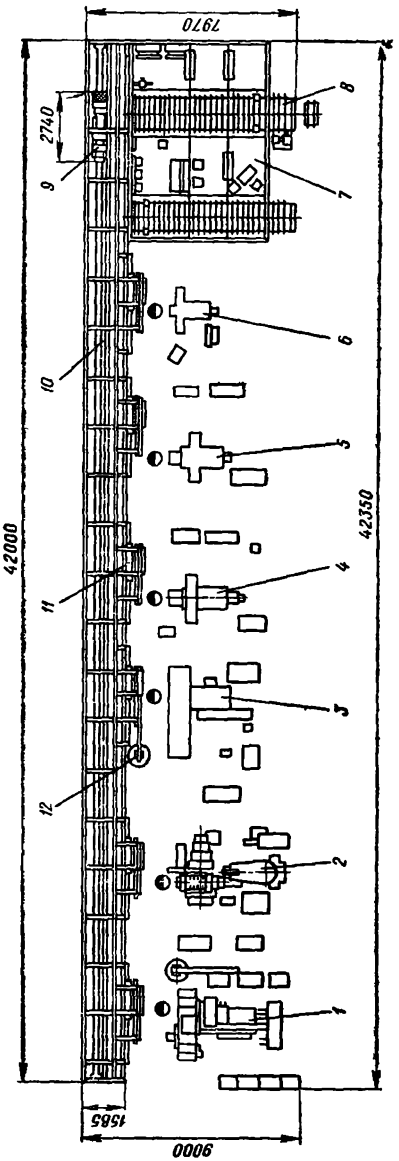


Рис. 18. Участок станков с ЧПУ и автоматизированной транспортно-складской системой АТСС:
1 — МА2612Ф2 (ЭНИМС); *2* — ГЦ-08 (ГЗФС); *3* — 6305Ф4 (ГЗФС); *4* — 6Р13Ф3 (ГЗФС); *5* — 6Р13Ф3 (ГЗФС); *6* — 6Р11Ф3; *7* — диспетчерский пульт; *8* — транспортер; *9* — штабелер; *10* — накопитель; *11* — рабочее место; *12* — кран консольный

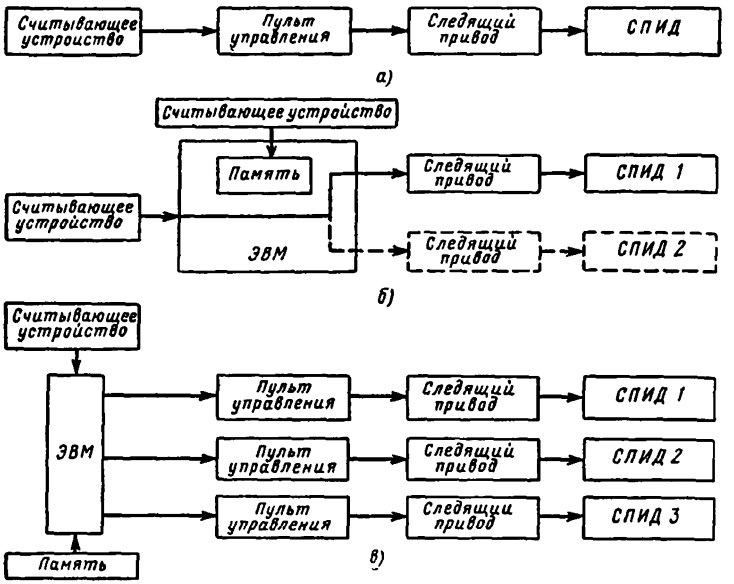


Рис. 20. Блок-схемы различных СУ:
а — обычных, *б* — с *CNC*; *в* — с *DNC*

Участок станков с ЧПУ, обслуживаемых АТСС, полностью автоматизирован с многоинформационной СУ.

Блок-схемы систем прямого управления группами станков от ЭВМ *DNC* показаны на (рис. 20).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Барский М. Э.** Отечественные станки цифрового ПУ. В кн : Передовая технология и автоматизация управления процессами обработки деталей машин Л , «Машиностроение», 1970, с. 111—113

2. **Барун В. А. и Будницкий А. А.** Станки с программным управлением и программирование обработки. Л., «Машиностроение», 1965, 348 с.

3. **Богуславский Б. Л.** Автоматы и комплексная автоматизация М., «Машиностроение», 1964 535 с

4. **Ермолаев Г. В.** Автоматическая смена инструментов на станках с программным управлением — «Станки и инструмент», 1967, № 7, с. 33—37.

5. **Кузнецов Ю. И.** Технологическая оснастка к станкам с программным управлением М , «Машиностроение», 1976 224 с.

6. **Кашепава М. Я., Непомнящий Ю. Л.** Обрабатывающие центры японских фирм. М., НИИМАШ, 1976, № 9. 41 с.

7. **Крыленко М. А.** Горизонтальный обрабатывающий центр с наклонно-поворотным столом модели 69Б04ПМФ2. М., НИИМАШ, 1976, вып. № 6, 16 с.

8. **Малов А. Н., Иванов Ю. В.** Основы автоматики и автоматизация производственных процессов М , «Машиностроение», 1974. 366 с

9. **Маталин А. А.** Многооперационные станки «Машиностроение», 1974. 320 с

10. **Металлорежущие** станки. М., «Машиностроение», 1965. 764 с Авт.: Н. С. Ачеркан, А А. Гаврюшин, В. В. Ермаков и др

11. **Металлорежущие станки с ЧПУ** Каталог-справочник. М., НИИМАШ, 1972 259 с

12 **Наладка станков с программным управлением** Учебное пособие для средних проф.-технических училищ М., «Высшая школа», 1976 280 с. Авт: А. Н. Ковшов, В А Ратмиров, М А. Вульфон и др

13 **Оганян А. А.** Опыт внедрения станков с ЧПУ. М., НИИМАШ, 1972, вып. 2, с. 8

14 **Озерский В. З.** Обработка корпусных деталей и шпиндельных коробок агрегатных станков на станке типа «обрабатывающий центр» модели СМ308 — В кн.: Сборник «Оборудование с ЧПУ». М., НИИМАШ, 1976, № 1, с 3.

15. **Организация эксплуатации станков с ЧПУ на машиностроительных предприятиях.** Обзор М., НИИМАШ, С-1, 1975. 72 с.

16. **Сергиевский Л. В.** Наладка, регулирование и испытание станков с ПУ. М., «Машиностроение», 1974 290 с.

17 **Спиридонов А. А., Федоров В. Е.** Металлорежущие станки с ПУ. М., «Машиностроение», 1972 352 с.

18 **Станки с ПУ.** Справочник. М., «Машиностроение», 1975. 288 с. Авт Г. А Монахов, А А. Оганян, Ю. И. Кузнецов и др.

19 **Харизаменов Н. В.** Электрооборудование и электроавтоматика станков М., «Машиностроение», 1975 328 с.

Глава 15

СТАНКИ С СИСТЕМАМИ ЦИКЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ, С САМОПРИСПОСАБЛИВАЮЩИМИСЯ СИСТЕМАМИ. АГРЕГАТНЫЕ ПОЛУАВТОМАТЫ И АВТОМАТЫ

СТАНКИ С СИСТЕМАМИ ЦИКЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Для многих станков универсального типа и общего назначения, предназначенных для серийного производства, применяют цикловое программное управление ЦПУ с коммутаторами и штекерным набором программы. В станках с позиционированием (координатно-расточные, сверлильные, долбежные, строгальные, протяжные и др.) также применяют штекерные системы [3, 7].

В станках с набором только одной координаты во время обработки управление выполняется по пути (токарные, револьверные, карусельные, расточные и др.).

Штекерные системы в сочетании с ЧПУ характеризуются тем, что они могут настраиваться по заранее подготовленной программе (перфокарте, перфоленте и т. д.) или без нее.

Системы циклового программного управления проще систем ЧПУ Их используют для программирования всего цикла работы станка или части его, режима обработки и смены инструмента. ЦПУ применяют главным образом в станках токарной группы (70% от всего количества станков с ЦПУ) и в станках фрезерного вида обработки (≈25%) Ос-

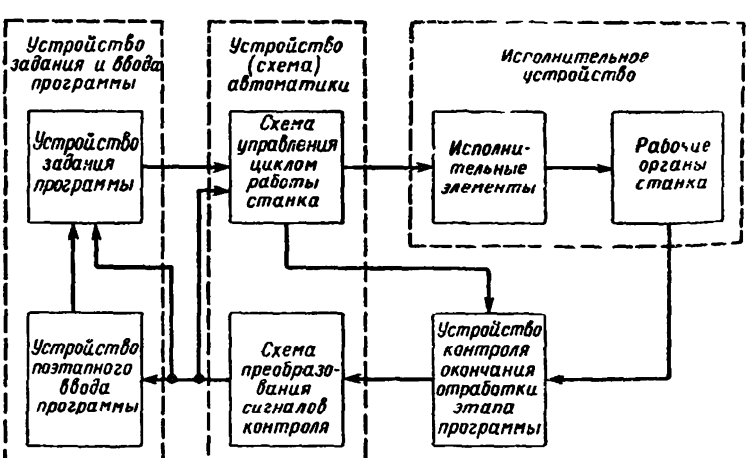


Рис. 1. Функциональная схема системы ЦПУ

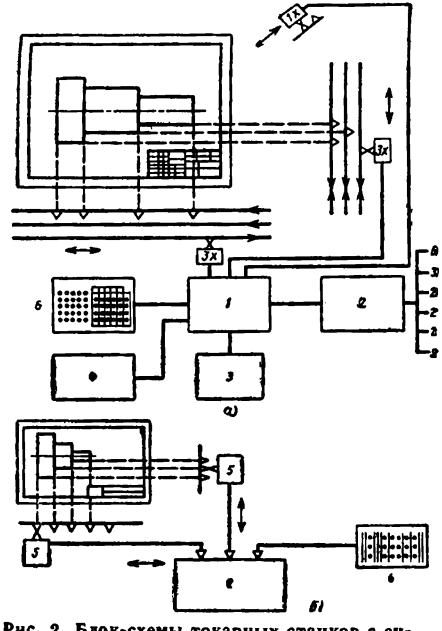


Рис. 2. Блок-схемы токарных станков с системой ЦПУ:

1 — устройство ввода программы; *2* — исполнительная схема; *3* — пульт ручного управления; *4* — контроль, *5* — путевые переключатели; *6* — штекерная панель

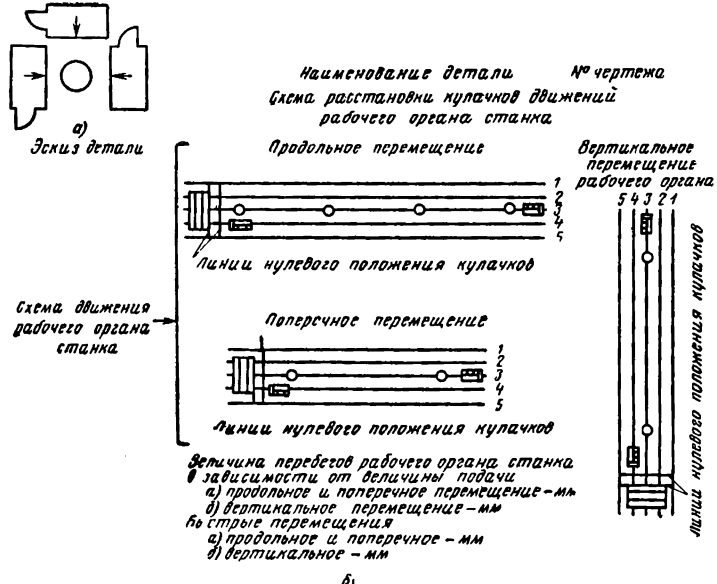
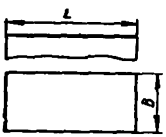
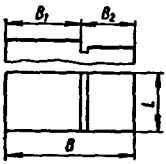
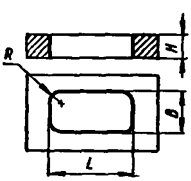
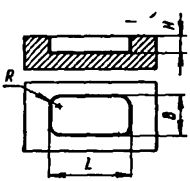
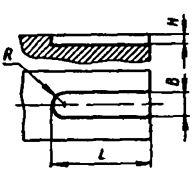


Рис. 3. Расстановка станков с ЦПУ (*а*) и карта наладки для фрезерных станков (*б*)

1 Перечень станков с ЦПУ

Станок	Размер обрабатываемого изделия, мм	Масса, т	Мощность, кВт
Токарный револьверный полуавтомат.			
1А416Ц	⌀ 160	2,9	5,5
1425	⌀ 250	4,5	7,5
Токарно-револьверный станок с вертикальной головкой повышенной точности			
1Е340ПЦ	⌀ 40	2,7	4,2/6,4
1А341Ц	⌀ 40	2,5	4,5/6,7
1А341ПЦ	⌀ 40	2,5	4,5/6,7
Токарно-винторезный 1А616Ц	320×710	2,2	3,8/6,3
Токарный многорезцовый копировальный полуавтомат 1Б732	320×1000—2800	10,5 11,5 12,5	45—55
Консольно-фрезерный вертикальный.			
6С12Ц	320×1250	2,7	5
6Р13Ц	400×1600	4,5	13
Круглошлифовальный полуавтомат повышенной точности 3А151Ц	200×700	6,5	

2 Классификатор типовых участков деталей, обрабатываемых на фрезерных станках с ЦПУ [7]

Типовой участок	Эскиз	Соотношение основных параметров	L, мм	B, H, мм	Точность обработки
Плоскость открытая			75 200 400	50 100 200	A_7
			75 200 400	50 100 200	A_8
Плоскость ступенчатая		$B_1 > B_2$	75 300	60 200	A_8
			75 300	60 200	A_7
Окно		$B > 2R$	75 250	60 100	A_7
Гнездо		$B > 2R$	75 250	60 100	A_8
			75 250	60 100	A_7
Паз, закрытый с одной стороны		$B = 2R$	30 30 50 50 350 350 50 50	6 6 16 16 16 16 24 24	A_8 A_7 A_8 A_7 A_8 A_7 A_8 A_7

Карта наладки
фрезерного станка с цикловым программным управлением 6С12Ц
Наименование детали Крышка
Краткое описание операции фрезерование пазов

Схема расстановки штекеров на пульте набора и считывания программы

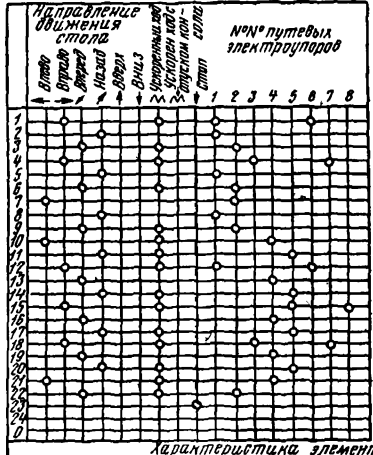
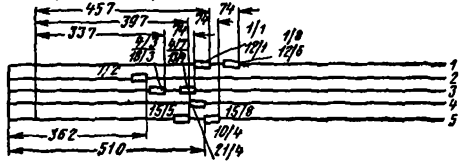


Схема расстановки кулачков движений рабочего органа станка

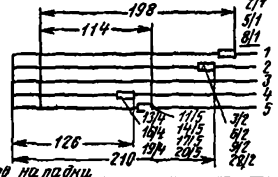
Продольное перемещение рабочего органа



Вертикальное перемещение рабочего органа



Поперечное перемещение рабочего органа



1 Координаты исходного положения режущего инструмента обрабатываемой детали:
а) продольное перемещение – 520мм
б) поперечное перемещение – 220мм
в) вертикальное перемещение – мм

2 Координаты режущего инструмента относительно базовых поверхностей обрабатываемой детали:
а) продольное перемещение – 480мм
б) поперечное перемещение – 215мм
в) вертикальное перемещение – мм

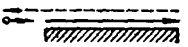
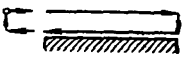
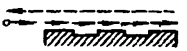
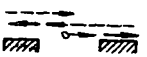
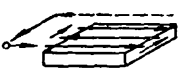
Режущий инструмент – фреза из стали Р18 диаметром 16мм
Режимы резания n=500 об/мин, V=25м/мин, S=80мм/мин
Приспособление тиски со специальной подкладной

Характеристика элементов наладки

№№ этапов цикла	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	0
Направлен и характер движен рабочего органа	→	↓	↓	→	↓	↓	→	↓	↓	→	↓	↓	→	↓	↓	→	↓	↓	→	↓	↓	↓			
Номер инструмента / Рабочие и ускоренные подачи	1	1	2	3	1	2	2	1	3	4	5	1	4	5	5	4	5	3	4	5	4	2			
Замедленные подачи		6			7						6			8				7							
№№ дорожки на планке	1	1	2	3	1	2	2	1	2	4	5	1	4	5	5	4	5	3	4	5	4	2			
Размер положения кулачка по отношен линий нулевого положения	457	198	270	337	196	270	362	198	270	570	194	497	126	194	397	170	194	337	126	194	570	270			
Допуск на размер, мм	±0,4	±0,1	±0,2	±0,1	±0,1	±0,2	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,2	±0,4	±0,5	±0,2	±0,1	±0,1	±0,2	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,2			

Рис. 4. Схема расстановки штекеров при выполнении цикла «Рамка – горизонтально»

3. **Типичные прямоугольные циклы на фрезерных станках с ЦПУ [7]**

Эскиз	Обработка
	Поверхностей деталей — в один проход
	*Поверхностей деталей* — в два прохода
	Скачкообразная
	Ступенчатых поверхностей
	Маятниковая
	Плоских поверхностей пазов и т. п. — в несколько проходов
	Наружных замкнутых контуров
	Внутренних замкнутых контуров
	Пазов, уступов и т. п. на цилиндрических деталях с использованием поворотного стола

Примечание. В эскизах обозначено: → рабочие подачи; ○—→ быстрый ход, — — — → быстрый ход с отводом инструмента

новное отличие ЦПУ от систем ЧПУ — отсутствие размерной информации.

Функциональная схема ЦПУ [7] (рис. 1) состоит из устройства задания и ввода программы (штекерное устройство кнопочной панели и др.) и узла поэтапного ввода информации (шаговый искатель или релейная счетно-распределительная схема). Часто эти устройства выполняют в виде барабанов с кулачками со ступенчатым поворотом. Если барабан зубчатый, на него надевают перфорированную ленту или карту с информацией заданной программы. Устройство автоматики (обычно на электромагнитных реле) служит для усиления и размножения команд, передаваемых на исполнительные узлы.

Вспомогательные устройства имеют электрический, реже гидравлический или пневматический привод. Контроль осуществляется в функции пути путевыми переключателями. ЦПУ подразделяют в зависимости от объема информации (этапы, элементы цикла и комбинированные). Программы могут набираться непосредственно на станке и вне его. Основные характеристики ЦПУ: сложность воспроизводимых циклов, объем этапов или цикла, наибольшее количество команд, возможных для задания по одной координате, число осей координат, число программируемых значений скорости, подачи и конструктивные особенности.

Точность установки рабочего узла при позиционировании в результате простого отключения привода для станков недостаточна, поэтому обычно используют некоторое опережение подачи команд управляющему датчику. В этом случае путь рабочего узла с момента подачи команды

$$S = vt + \frac{mv^2}{2P_c},$$

где v — скорость перемещения узла; t — суммарное время срабатывания всех аппаратов; m — масса всех движущихся элементов; P_c — сила торможения, приведенная к рабочему органу.

Так как все входящие в формулу величины непостоянны, то колебания пути будут носить случайный характер. Следовательно, пренебрегая величинами второго и третьего порядка малости, для относительного изменения выбега рабочего узла находим

$$\delta_S = \frac{vt}{S}(\delta_v + \delta_t) + \frac{mv^2}{2P_cS}(2\delta_v + \delta_t + \delta_P),$$

где δ_m, δ_t, δ_v и δ_P — соответственно отклонения от номинальной массы, суммарного времени срабатывания аппаратов, скорости и тормозной силы.

Можно пользоваться следующими данными: при скорости перемещения узла 10—70 мм/мин останов может быть осуществлен с точностью до 0,01 мм.

На рис. 2 приведены схемы токарных станков с ЦПУ. Накладная перфокарта определяет программу обработки детали, а на станке устанавливают панели упоров. Перемещение суппорта осуществляется включением исполнительной схемы автоматически. Срабатывавший микропереключатель подает сигнал в панель упоров, в результате чего подключается для отработки фазовая программа следующего этапа.

Основные условия рациональной эксплуатации станков с ЦПУ: обеспечение условий для многостаночного обслуживания; концентрация не менее трех станков с ЦПУ; подбор деталей для обработки на станках ЦПУ специальным классификатором (табл. 1). Технологическая карта для фрезерных станков с ЦПУ показана на рис. 3, а карты наладки — в табл 2.

При оценке расчетной эффективности станков с ЦПУ необходимо иметь в виду, что дополнительные капитальные затраты не должны превышать нормативных.

Система программного управления фрезерными станками 6Л12П и 6Л82Г [12] предназначена для прямоугольных циклов (табл. 3 и рис. 4). Обработка производится относительным движением инструмента и заготовки последовательно по одной из координат. Таким циклом можно управлять с помощью штекерного коммутатора, так как не требуется большого объема информации. При этом отпадает необходимость в специальных программоносителях, кодировании чертежных размеров и аппаратуры для переработки информации.

Расстановка штекеров по схеме, представленной на рис. 4, соответствует циклу движений стола по прямоугольнику в горизонтальной плоскости: первый переход — быстрое движение стола вправо, второй — движение стола вправо с рабочей подачей, третий — движение стола назад с рабочей подачей, четвертый — движение стола влево с рабочей подачей, пятый — движение стола вперед с рабочей подачей, шестой — быстрое движение стола влево с отводом — опусканием консоли на 1 мм, седьмой — остановка стола в исходном положении.

Аналогичным образом производится расстановка штекеров при обработке ступенчатых поверхностей или при выполнении маятникового цикла движений.

СТАНКИ С САМОПРИСПОСАБЛИВАЮЩИМИСЯ СИСТЕМАМИ

Самоприспосабливающиеся (адаптивные) системы осуществляют главным образом информацию процесса обработки [2], но они могут быть использованы также для оптимизации другой информации: окружающей среды, точности и т. д. Оптимальным является такой режим, при котором обеспечивается минимум приведенных затрат на обработку.

Самоприспосабливающиеся системы (САУ) замкнутые, они компенсируют возмущения процесса обработки. В зависимости от результатов сравнения фактических значений с заданными граничными изменяется выходная информация [2]. Таким образом, предельное регулирование происходит по заранее определенной стратегии (рис. 5).

При оптимальном регулировании (рис. 6) происходит автоматическая оптимизация процесса благодаря использованию математической модели, описывающей процесс и стратегию поиска оптимального решения.

При сочетании самоприспосабливающихся систем с системами ЧПУ не только улучшается предельное или оптимальное регулирование, но и достигается резкое снижение объема и стоимости программирования [1, 5, 10].

В самоприспосабливающихся системах информация программы нефиксированная, она изменяется в зависимости от условий для по-

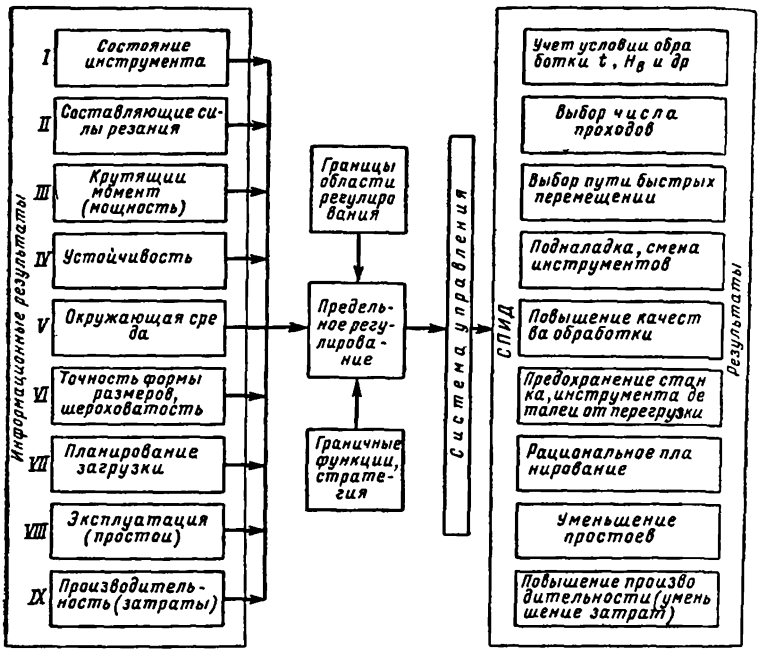


Рис. 5. Общая схема самоприспосабливающихся систем с предельным регулированием

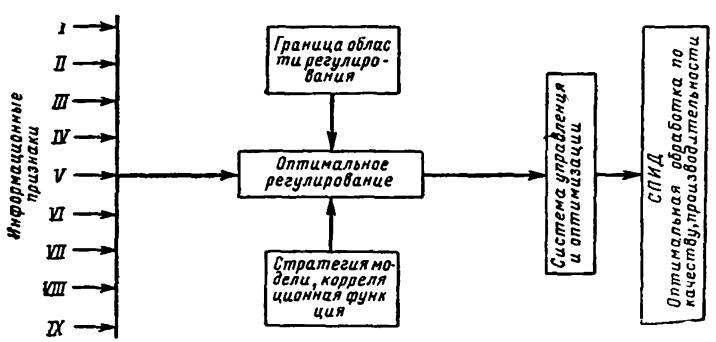


Рис. 6. Общая схема самоприспосабливающихся систем с оптимальным регулированием

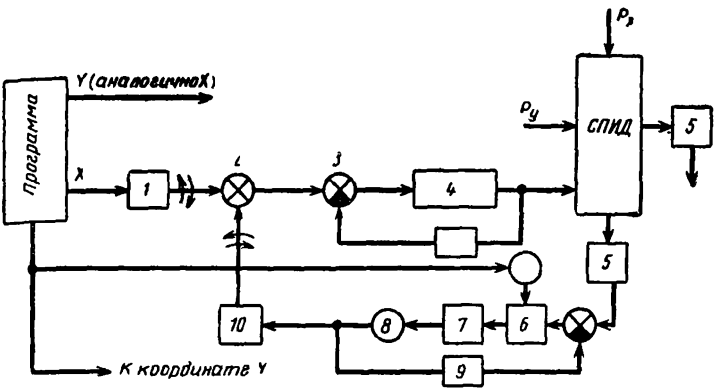


Рис. 7. Самоприспосабливающаяся система для вертикального фрезерного станка 6Н 13ГЭ-2

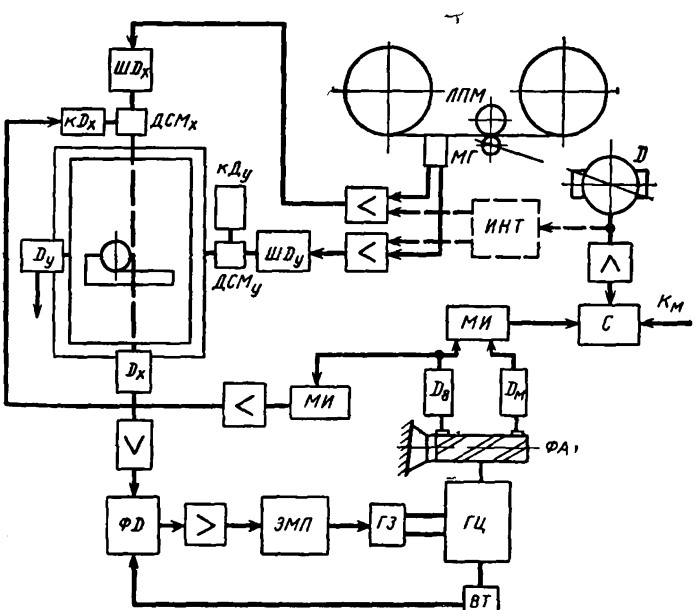


Рис. 8. Самоприспосабливающаяся система для контурного фрезерного станка

поиска наиболее эффективного решения. Таким образом, это системы оптимальности и управления [2, 5, 8, 10].

То, что станки с ЧПУ обычно работают по жесткой программе, значительно снижает их эффективность. Этого можно избежать, сочетая системы ЧПУ с самоприспосабливающимися, причем существенно упрощается разработка управляющей программы — отпадает необходимость введения в нее данных по изменению процесса обработки [8].

Рассмотрим примеры использования самоприспосабливающихся систем в станках с ЧПУ различных типов.

В двухконтурной адаптивной системе (рис. 7), разработанной для вертикально-фрезерного станка 6Н13ГЭ-2, динамическая настройка в направлении осей *X* и *Y* выполняется в процессе фрезерования. Динамометрический узел *5* и сопротивление потенциометра *9* обратной связи образуют мостовую схему. Измерительное устройство *6* фиксирует рассогласование по оси *X*; через электронный усилитель *7* подается импульс на обмотку сервомотора *8*. Крутящий момент с сервомотором через редуктор *10* сообщается дифференциалу *2* В результате происходит суммирование угла поворота вала редуктора и вала *1* шагового двигателя подачи Одновременно на золотник *3* гидроусилителя *4* поступает суммарный сигнал. Как от программы, так и от системы коррекции статической настройки САУ работает независимо от системы ЧПУ. На рис. 8 представлена схема системы автоматического управления размерами статической и динамической настройки контурно-фрезерного станка с ЧПУ.

Управление размером динамической настройки осуществляется путем регулирования контурной (продольной) подачи, выполняемой автоматическим регулированием скорости протяжки магнитной ленты. В процессе фрезерования измеряются составляющие силы резания P_x и P_y датчиком D_x и D_y, и сигналы, пропорциональные P_x, усиливаются и подаются на фазовый дискриминатор *ФД*, а на другой его вход поступает сигнал обратной связи с вращающегося трансформатора *ВТ*. После усиления сигнал поступает на электромеханический преобразователь *ЭМП* следящего золотника *ГЗ*, управляющего работой гидроцилиндра *ГЦ*. Шток гидроцилиндра *ГЦ* деформирует в направлении оси *X* специальную фрезу-аналог, которая повторяет упругие деформации рабочей фрезы. Разность сигналов $U_п$ и $U_в$, поступающих с обоих датчиков, характеризует наклон фрезы. Эта разность поступает на устройство сравнения *С*, где происходит сопоставление угловой деформации фрезы с допустимой ее величиной. Полученный сигнал рассогласования усиливается и подается на двигатель постоянного тока, вращающий привод лентопротяжного механизма *ЛПМ* Одновременно сигнал с датчика $D_в$ поступает на мостовую измерительную схему *МИ*, усиливается и подается на двигатель *KD* установки координат Дифференциально суммирующий механизм производит алгебраическое суммирование угла поворота шагового двигателя и корректирующего двигателя.

На рис. 9 представлена принципиальная схема самоприспосабливающейся системы для трехкоординатного фрезерного станка с ЧПУ. В процессе резания четырьмя датчиками, являющимися преобразователями линейных перемещений, выполняется непрерывное измерение деформации (прогиба) шпинделя в направлении координат *X* и *Y*, а при помощи тензометрического датчика измеряется крутящий момент

на шпинделе. Предусмотрено также измерение мощности привода шпинделя. В блок управления попадает в каждый момент информация от изменений координат Δx, Δy крутящего момента $\Delta M_{кр}$ и мощность ΔN, на оснований которой вычисляются оптимальные режимы резания ($\bar{v}$ и $\bar{s}$). Эти данные поступают в систему ЧПУ, в которой производится автоматическая коррекция программы. Система фиксирует также мо-

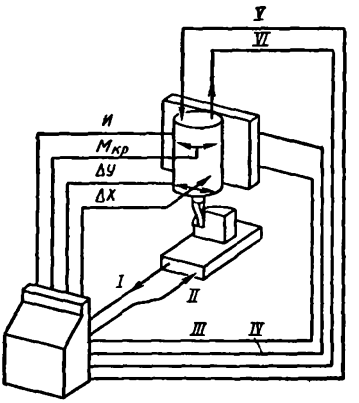
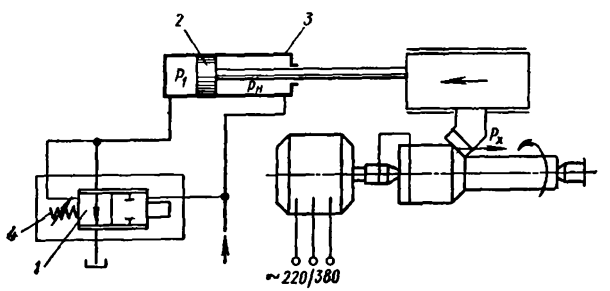


Рис. 9. Самоприспосабливающаяся система для трехкоординатного фрезерного станка:

I, III, VI — сигналы обратной связи; *II, IV* — корректирующие сигналы подачи по осям *X*, *Y*; *V* — сигнал коррекции скорости резания; *VI* — канал для измерения

Рис. 10. Самоприспосабливающаяся система для автоматизации гидрокопировальных, токарных, отрезных и других типов станков с небольшой подачей



мент максимально допустимого затупления фрезы; при этом загорается сигнальная лампочка.

Ниже приводится описание самоприспосабливающихся систем, разработанных на Московском станкостроительном заводе им. Серго Орджоникидзе.

На рис. 10 представлена структурная схема самоприспосабливающейся системы, предназначенной для автоматизации гидрофицированных токарных, отрезных и других станков с небольшим перемещением рабочих органов. Система стабилизирует усилие резания в процессе обработки. Исполнительный элемент — гидравлический регулятор *1* изменения рабочей подачи в зависимости от перепада давления на поршне *2* гидроцилиндра *3*. Настройка на необходимые усилия резания осуществляется пружиной *4*.

На рис. 11 показана САУ для управления станками с гидрофицированным приводом подачи, в том числе полуавтоматами 1Б732. САУ состоит из электронного блока управления, золотника с электроуправлением Г68—1, датчика тока, двигателя главного движения и устройства измерения и индикации подачи. Изменение нагрузки двигателя главного движения *1* воспринимается датчиком тока *2*. После обработки и усиления в электронном блоке *3* сигнал поступает на электрогидравлический усилитель *4*. В зависимости от величины сигнала

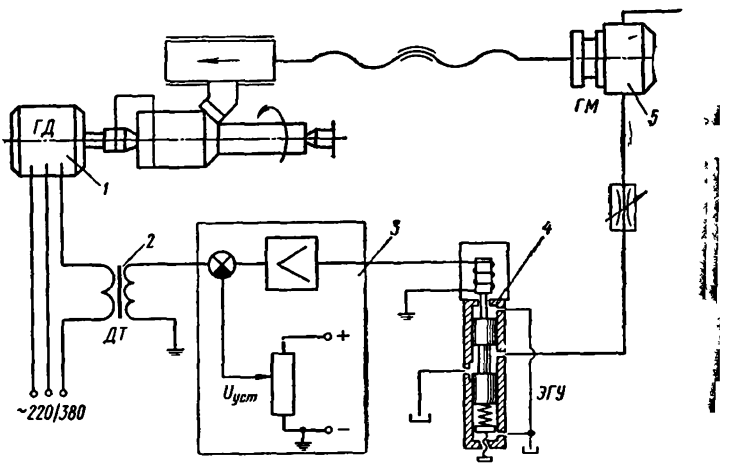


Рис. 11. Самоприспосабливающаяся система для гидрокопировальных станков

происходит изменение расхода масла и гидромотор *5* меняет величину подачи суппорта.

Система на рис. 12 предназначена для оптимизации режимов обработки на двусторонних торцешлифовальных станках-автоматах. Она обеспечивает выбор оптимальной подачи для заданной наладки и стабилизации ее колебаний, вызванных изменяющимися припуском, положением детали, затуплением шлифовального круга и другими факторами. Система состоит из регулируемого тиристорного электропривода подачи мощностью 0,25—0,7 кВт и электронного блока управления. Сигнал, пропорциональный нагрузке, подается датчиком на вход регулируемого привода. В электронном блоке предусмотрено регулирование всех основных параметров САУ для обработки цилиндрических и конических деталей диаметром 50—200 мм с припуском 5—500 мкм. Использование САУ на торцешлифовальных автоматах улучшает геометрическую точность обработки и на 10—20% повышает производительность.

Последовательность выбора самоприспосабливающейся системы следующая [1, 5, 8, 10]: 1) для разработки математической модели выводят уравнения движения режущих кромок инструмента относительно технологических баз, содержащих в качестве аргументов величины, колебания которых используются как источники информации;

2) собирают исходные данные по технологическим характеристикам и по системе СПИД; 3) составляют перечень возможных источников информации; 4) составляют перечень возможных способов внесения поправок в процесс обработки; 5) составляют перечень схем управления на основе выбранных источников информации; 6) разрабатывают алгоритм моделирования процесса обработки на ЭВМ и поиска наилучшей системы САУ

В токарных станках применяют главным образом системы стабилизации силовых параметров резания путем регулирования величины

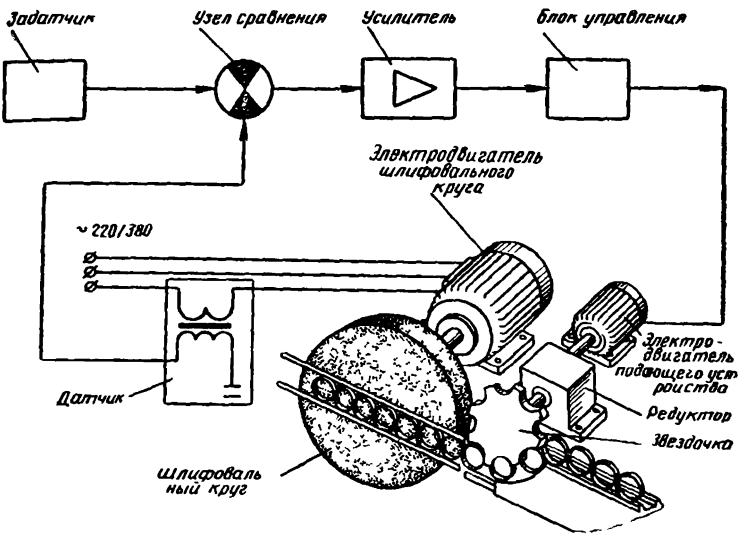


Рис. 12. Самоприспосабливающаяся система для двусторонних торцешлифовальных станков-автоматов

подачи. Рассмотрим требования к работе систем стабилизации. Прежде всего необходимо выполнение следующего условия: $P_i \leqslant P_0$, где P — стабилизируемый параметр (0 — заданный, а i — фактический режим). Фактическая подача $s_i = s_0 \left(\frac{P_i}{P_0}\right)^{\xi}$

Для получения приближенного решения используется система стабилизации силы резания с малым коэффициентом усиления. При уменьшении коэффициента усиления статической системы стабилизации ниже 10 эффективность регулирования режима резания значительно снижается, т. е. допустимая погрешность не должна превышать $0{,}1P_0$.

Для станков малых и средних размеров (например, 1616 или 1К62) $t_{\text{пред}} < 6 \div 8$ мм; чувствительность датчиков не позволяет использовать их сигнал при $t_{\text{пред}} = 1 \div 2$ мм. Следовательно, коэффициент усиления объекта регулирования $k_{\text{общ}} = 3 \div 8$.

Для тяжелых станков с $t = 12 \div 18$ мм и более $k_{\text{общ}} = 6 \div 18$. Следует учитывать, что имеются ограничения по минимальной подаче:

для станков малых и средних размеров $s_{max} \leqslant 0{,}8 \div 1$ мм/об; для тяжелых $s_{max} = 1{,}2 \div 1{,}8$ мм/об, при этом необходимо иметь в виду и ограничения по s_{min} ($s_{min} \geqslant 0{,}2 \div 0{,}4$ мм/об)

Система управления должна обеспечивать максимальную скорость перемещения на быстрых ходах (инструмент «режет воздух»), а также она должна предохранять элементы СПИД от поломок. Обычно для выполнения последнего условия устанавливают $(P_t < P_{max}) = (1{,}5 \div 1{,}7)\, P_0$.

Адаптивное управление процессом токарной обработки на станке с ЧПУ описано в работе [5].

Оптимизация проводится на основе оценочной функции, представляющей удельные затраты на обработку:

$$C_y\,(n,\ s)_{min} = \frac{a_1 + a_n \dfrac{1}{T\,(ns)}}{qns},$$

где $C_y\,(ns)$ — стоимость удаления единицы объема металла на данном режиме, руб/мм^3; n — частота вращения, об/мин; s — подача, мм/об; a_1 — стоимость станко-минуты основного оборудования, руб/мин; $a_n = a_1 t_{см} + a_2 t_n z/(z+1) + b\,(z+1)$ — затраты на инструмент за период стойкости T, руб; a_2 — стоимость станко-минуты заточного оборудования, руб/мин; b — стоимость инструмента, руб; $t_{см}$ — время смены инструмента, мин; $t_п$ — время переточки инструмента, мин; q — параметр резания, мм^2.

В работе [3] даны варианты расчета.

Расчет оптимизации режима фрезерования приведен в работе [4].

АГРЕГАТНЫЕ ПОЛУАВТОМАТЫ И АВТОМАТЫ

Агрегатный станок (полуавтомат или автомат) представляет собой высокопроизводительную машину специального или специализированного назначения, собранную из нормированных узлов и деталей машиностроения (ГОСТ 19468—74).

На рис. 13 представлено два варианта выполнения агрегатных полуавтоматов: двустороннего барабанного (рис. 13, *а*); вертикального с круглым индексируемым столом (рис. 13, *б*).

Агрегатные станки имеют большое число конструктивных разновидностей, которые зависят от вида обрабатываемой детали и технологического процесса: горизонтальные, вертикальные, наклонные, комбинированные, одно- и многосторонние, одно- и многопозиционные; с механическим, гидравлическим, пневматическим и электрическим приводом.

Агрегатные полуавтоматы обслуживаются рабочим; на автоматах установку и снятие детали производят манипулятор или промышленный робот.

Из агрегатных станков строится большое количество автоматических линий (гл. 16).

Нормализованные узлы и детали агрегатных станков выбирают по каталогу-справочнику [9].

На агрегатных полуавтоматах и автоматах производятся следующие операции: сверление, рассверливание, зенкерование, нарезание резьбы, фрезерование плоскостей, торцов. Они выполняются одновре-

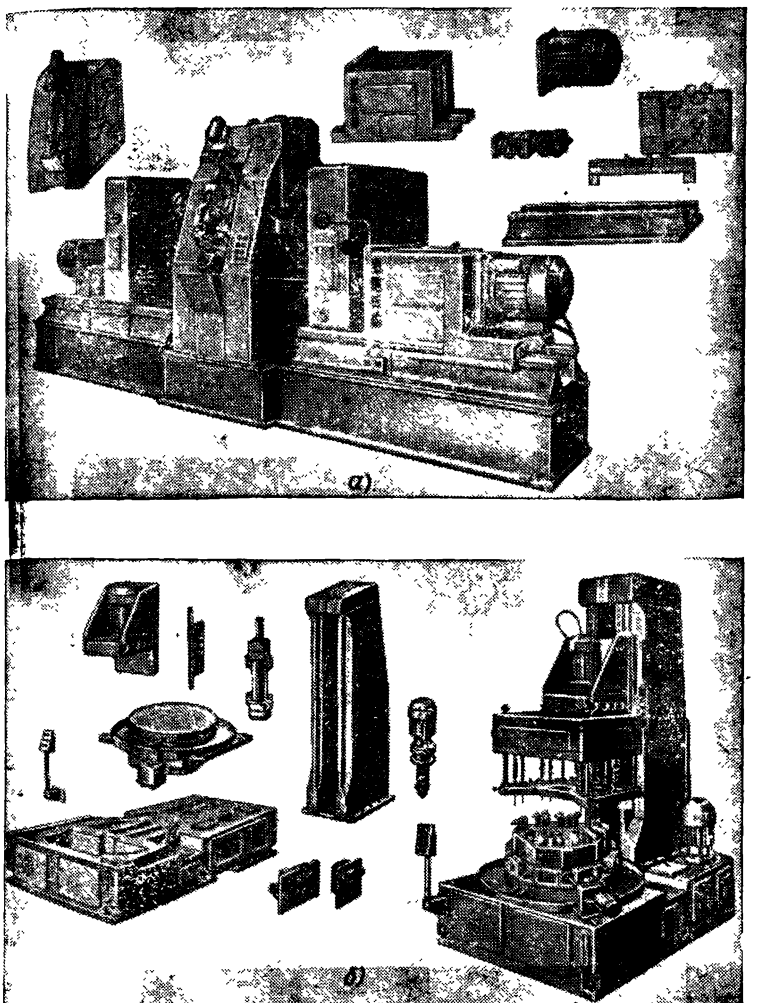


Рис. 13. Варианты выполнения агрегатных полуавтоматов и автоматов

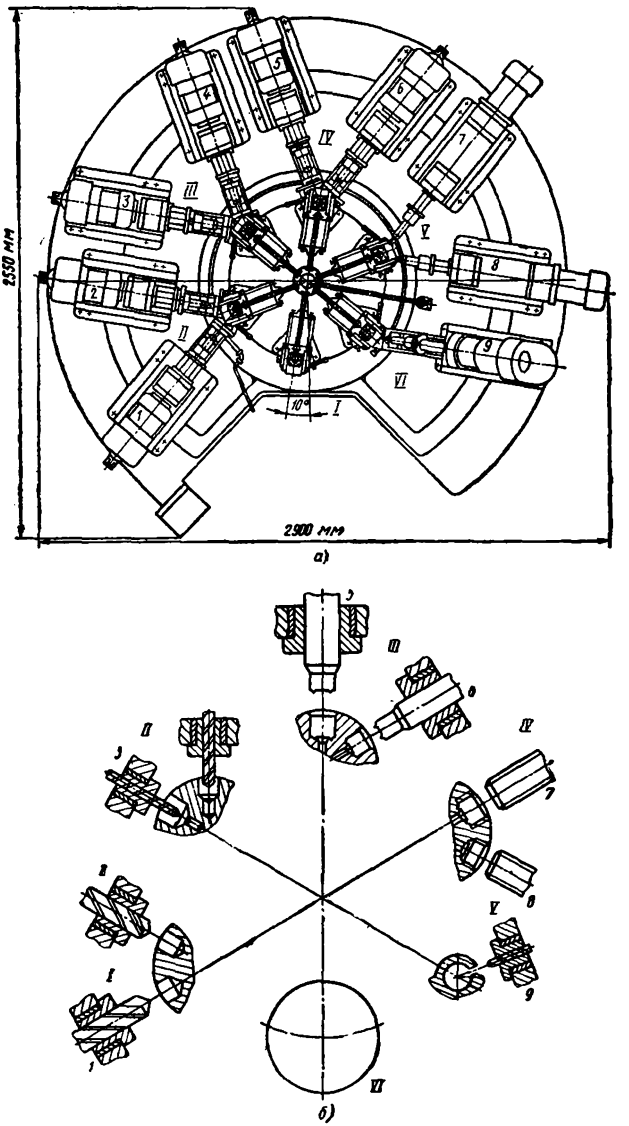


Рис. 14. Горизонтально-наклонный шестипозиционный полуавтомат ХА5035:

а — общий вид; *б* — план обработки

менно многоинструментными наладками, которые во много (в 5—150) раз производительнее универсальных одноинструментных станков. В каждой позиции обрабатываемое изделие неподвижно [4, 6, 9].

На рис. 14 показан горизонтально-наклонный шестипозиционный агрегатный полуавтомат ХА5035 с поворотно-делительным столом и девятью звездообразно расположенными головками, из которых две резьбонарезные с плоскокулачковым приводом подачи. Обрабатываемый корпус и технологическая схема представлена на рис. 2, *б*. Производительность полуавтомата при 85%-ной загрузке 100 деталей в час. В работе [9] приведены технические характеристики и указана производительность агрегатных полуавтоматов и автоматов различных типов, а также автоматических линий, построенных из них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Базров Б. М.** Выбор способа автоматического управления процессом механической обработки деталей. — «Станки и инструмент», 1975, № 1, с. 6.

2. **Богуславский Б. Л.** Системы управления станками. — «Станки и инструмент», 1973, № 10, с. 2.

3. **Богуславский Б. Л.** Токарные полуавтоматы, автоматы и автоматизированные линии. М., Профтехиздат, 1961, 600 с.

4. **Вороничев Н. М., Генин В. Б., Тартаковский Т. Э.** Автоматические линии из агрегатных станков. М., «Машиностроение», 1971, 552 с.

5. **Голдин Я. Г., Дронов В. В., Рубашкин.** Адаптивная система оптимизации режима фрезерования. — «Станки и инструмент», 1975, № 1, с. 5.

6. **Дащенко А. И., Шмелев А. И.** Конструкция и наладка агрегатных станков. М., «Машиностроение», 1973, 420 с.

7. **Зусман В. Г., Шраго Л. К., Михна Г. К.** Цикловое программное управление. М., «Машиностроение», 1971, 152 с.

8. **Нормализованные** узлы и детали агрегатных станков и автоматических линий. Справочник-каталог Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности. М., НИИМАШ, 1970, 470 с.

9. **Ратмиров В. А.** Самонастраивающиеся системы управления станками. М., НИИМАШ, 1971, 76 с.

10. **Самонастраивающиеся** станки. Сборник статей. М., «Машиностроение», 1967, 630 с.

Глава 16

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Автоматические линии (АЛ) предназначены для автоматизации массового и крупносерийного производства в разных отраслях промышленности.

Терминология. Автоматическая линия — система машин (комплекс основного и вспомогательного оборудования), автоматически выполняющих в определенной технологической последовательности и с заданным ритмом весь процесс изготовления или переработки продукции производства. По характеру выполняемых работ различают линии комплексные, механообрабатывающие, механосборочные, сборочные, заготовительные, штамповочные, термические, контрольно-измерительные, электроэрозионные, упаковочные, консервационные и др.

Загрузка, разгрузка и межоперационное перемещение обрабатываемых изделий от станка к станку осуществляются, как правило, автоматической транспортной системой, включающей накопитель первичной загрузки.

Участок АЛ — часть автоматической линии, которая может действовать самостоятельно. Участок АЛ может состоять из одного станка и должен иметь накопитель первичной загрузки.

В синхронной (жесткой) АЛ изделия загружаются, обрабатываются, разгружаются и передаются от станка к станку одновременно или через кратные промежутки времени. У АЛ с жесткой связью между станками при выходе из строя любого станка все другие выключаются и линия простаивает.

Несинхронная (гибкая) АЛ состоит из самостоятельно действующих станков. Изделия обрабатываются и передаются от станка к станку неодновременно (через межоперационные накопители). В линиях имеются межоперационные активные заделы. При выходе из строя любого станка все другие продолжают работать до истощения межоперационного задела или до полного заполнения последующего накопителя. Активные заделы могут храниться в транспортерах или накопителях.

В спутниковой АЛ изделия базируются, обрабатываются и транспортируются на приспособлениях, называемых спутниками. В некоторых случаях необходимы транспортеры для возврата спутников с конца в начало линии.

В сквозной АЛ транспортирование изделий с операции на операцию производится через зоны обработки станков. Время передачи изделия с операции на операцию полностью не совпадает со временем обработки.

В несквозной АЛ транспортирование изделий с операции на операцию производится в два приема: вначале вне зоны обработки, вдоль линии, затем поперек линии в зону обработки.

В ветвящейся АЛ поток обрабатываемых изделий делится хотя бы на одной операции на несколько, т. е. обработка производится на параллельно действующих станках (переход с одно- на многопоточную обработку). К этим линиям относятся также роторные АЛ. В таких АЛ применяются делители потока, транспортеры-распределители и другие устройства.

В комплексной АЛ процесс производства обеспечивает выпуск готовой продукции иногда в упакованном виде. В этом случае

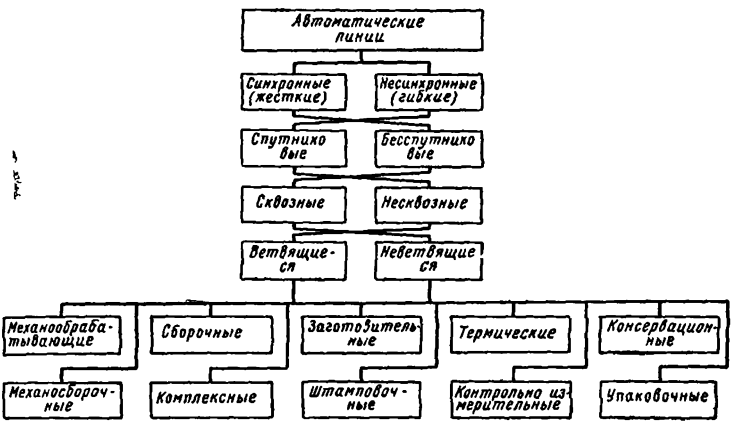


Рис. 1. Классификация АЛ

АЛ характеризуется разнообразием технологических операций (обработка резанием и давлением, сборка, контроль, мойка и т. п.)

Роторная АЛ состоит из станков (машин), в которых при обработке изделия и инструменты совершают совместное транспортное движение на рабочих роторах, а обработка смещается по фазе.

В переналаживаемой АЛ допускается переналадка для обработки заданной номенклатуры изделий.

ВАЛ с регламентированным адресованием обрабатываемые изделия с одного из потоков поступают на определенные последующие потоки в заданных пропорциях.

ВАЛ с нерегламентированным адресованием обрабатываемые изделия с одного из потоков поступают на любой другой последующий поток.

Комплекс АЛ — совокупность взаимосвязанных АЛ для последовательной обработки изделия.

Автоматический цех (АЦ) — производственная единица, в которой сосредоточены технологические потоки, скомпонованные из АЛ. АЦ характеризуется специальной системой административно-технического обслуживания и управления.

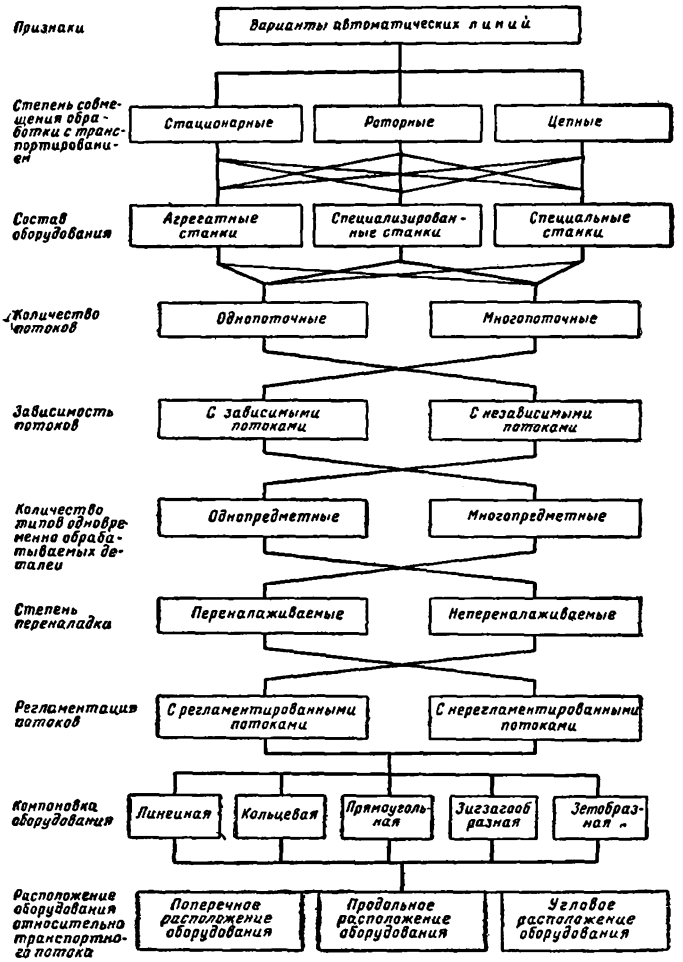


Рис. 2. Классификация вариантов АЛ по конструктивно-компоновочным признакам

Автоматический завод (АЗ) — производственная единица, предназначенная для полной обработки детали, сборки узла или машины. В АЗ сосредоточены автоматически действующие один цех или несколько цехов. АЗ характеризуется специальной системой административно-технического обслуживания и управления

В автоматизированной (полуавтоматической) линии транспорт и загрузочные операции автоматизированы частично.

На рис. 1 приведена классификация АЛ по основным признакам Классификация построена без учета промежуточных категорий. На рис. 2 приведена классификация вариантов АЛ по конструктивно компоновочным признакам, на рис. 3 — классификация транспортных систем АЛ.

Компоновки. В АЛ для обработки изделий типа корпусов определяющими являются поточность, вид связи оборудования, применение приспособлений-спутников и схем их возврата. Этим определяются возможности комплексной обработки изделия. В табл. 1 приведены

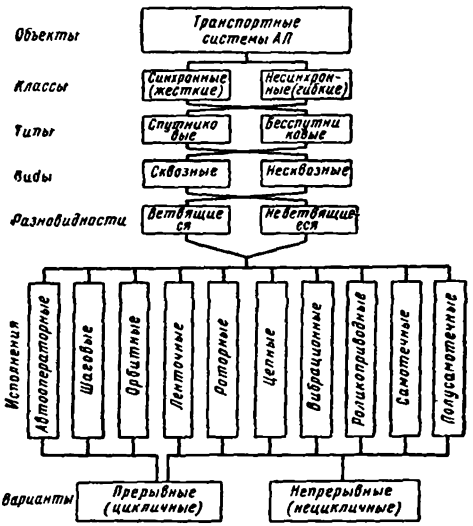
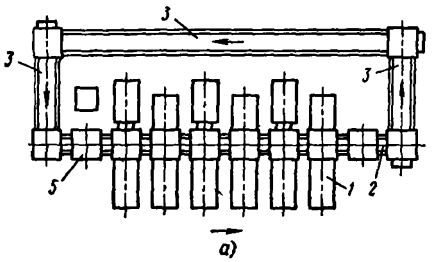


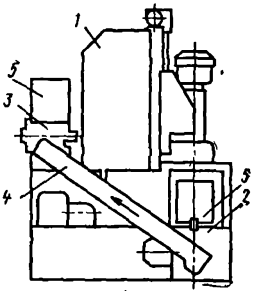
Рис. 3. Классификация транспортных систем АЛ

типовые компоновки АЛ для обработки корпусов. Спутниковые АЛ (рис. 4), как правило, имеют транспортер возврата спутников: на уровне основного транспортера (рис. 4, *а*), выше его, сбоку станков (рис. 4, *б*, продольный разрез), над станками (рис. 4, *в*), ниже основного транспортера (рис. 4, *г*), сбоку со спутниками в рабочем положении (рис. 4, *д*), повернутыми на 90° (рис. 4, *е*, продольный разрез). Возврат спутников производят также по рабочим позициям (рис. 4, *ж—м*)

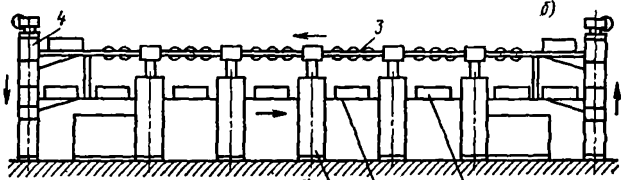
Схема на рис. 4, *ж* наиболее универсальна, так как не накладывает ограничения на компоновку станков В схеме на рис. 4, *з* вокруг центральной колонны перемещаются спутники; обработка ведется с четырех сторон. В схеме на рис. 4, *и* спутники с обрабатываемыми изделиями проходят по одному ручью, обработка ведется с одной стороны, затем спутники передаются на другую ветвь и детали обрабатываются с другой стороны. Схема на рис. 4, *к* применяется при односторонней обработке с поворотом спутника на 180° вокруг вертикальной оси, схема на рис. 4, *л* — при односторонней обработке на вертикальных станках. В схеме на рис 4, *м* применено попарное транспортирование спутников, возможна обработка с пяти сторон; левый спутник



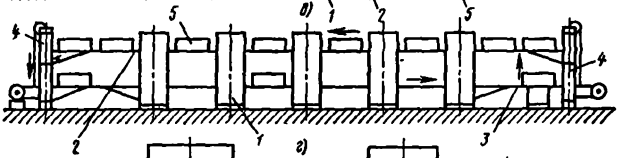
а)



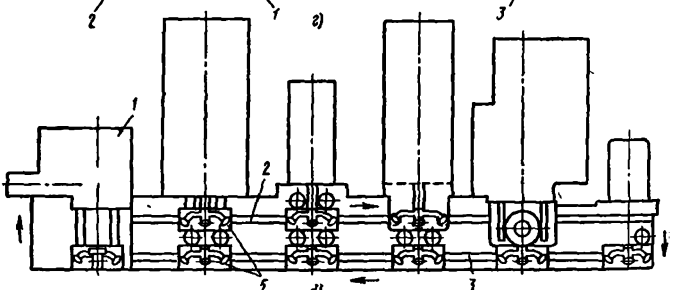
б)



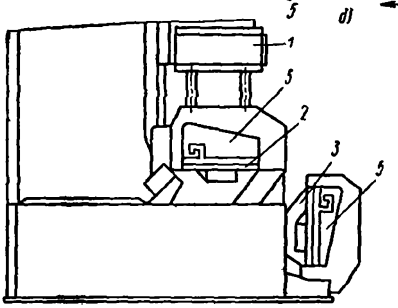
в)



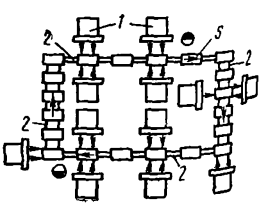
г)



д)



е)



ж)

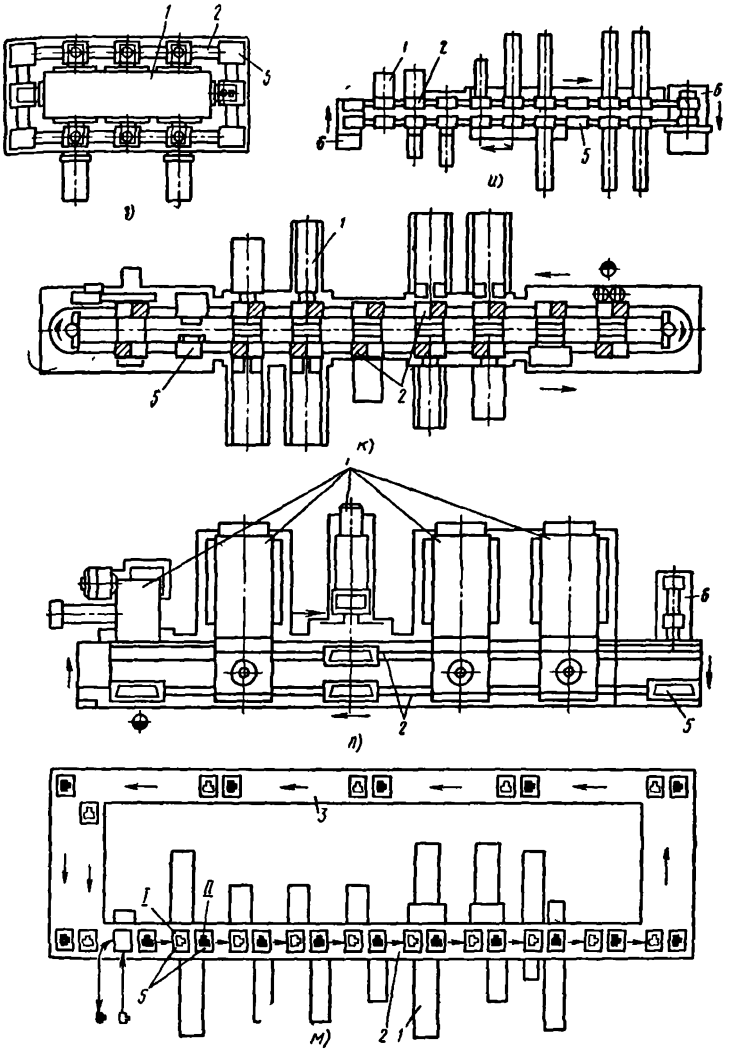
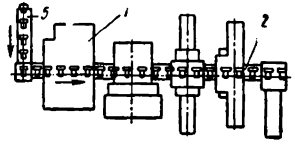
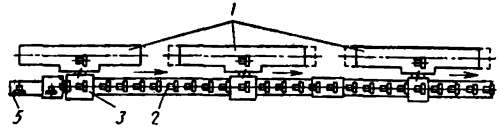
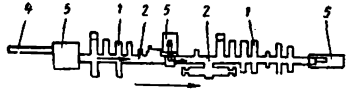
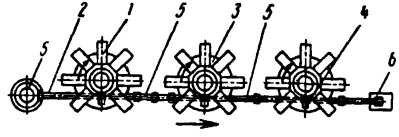
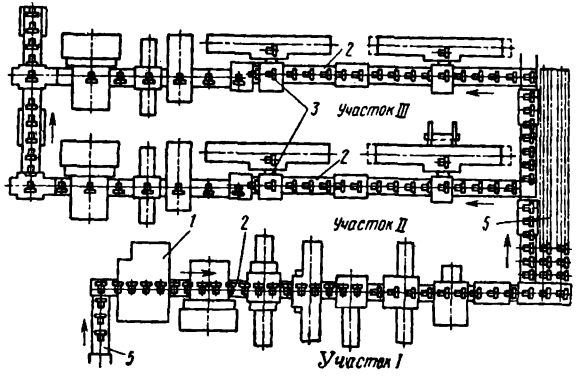


Рис. 4. Компоновочные схемы АЛ с приспособлениями-спутниками:

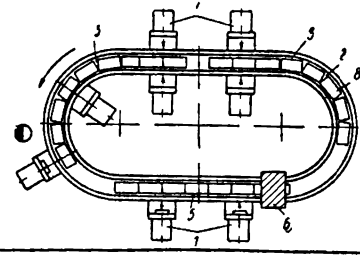
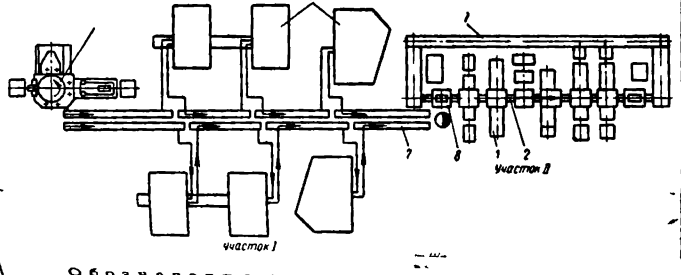
1 — станки, *2* — межоперационный транспортер; *3* — транспортер возврата приспособлений-спутников; *4* — подъемник; *5* — приспособление-спутник; *6* — толкатель

1. АЛ для обработки корпусов

Компоновка автоматической линии и эскиз	Назначение и характеристика
Однопоточная с жесткой связью из агрегатных станков: сквозная 	Для коротких АЛ из трех—пяти станков, возможна обработка изделий с пяти сторон
несквозная 	Чаще для фрезерных и расточных участков АЛ. Возможна обработка изделий с четырех сторон
Однопоточная с гибкой связью между станками: сквозная 	Обработка изделий с пяти сторон. Количество станков, соединенных в линию, не ограничено. Возможна работа каждого станка со своим циклом

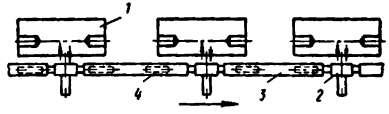
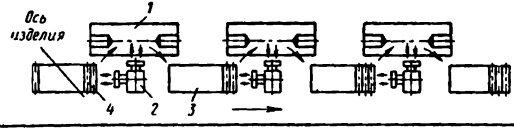
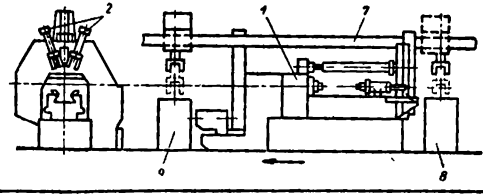
Компоновка автоматической линии и эскиз	Назначение и характеристика
несквозная 	Обработка небольших изделий с четырех сторон
Ветвящаяся многопоточная с гибкой связью между участками, сквозная и несквозная на отдельных участках 	В составе комплексов АЛ обеспечивает полную многостороннюю обработку изделия. Отдельные участки имеют жесткую связь, между участками установлены накопители. Обеспечивается выполнение различных по длительности операций

Продолжение табл. 1

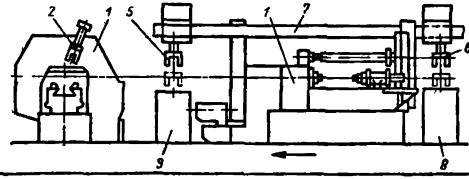
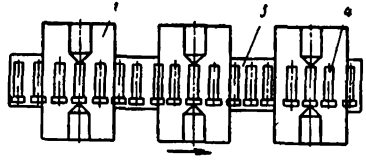
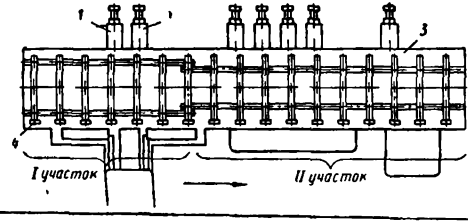
Компоновка автоматической линии и эскиз	Назначение и характеристика
Спутниковая из агрегатных станков: с жесткой связью (см. рис. 4)	Для обработки изделий любой конфигурации
с гибкой связью 	Обеспечивает возможность работы каждого станка со своим циклом. Время транспортирования спутника на рабочую позицию определяется его длиной
С транспортированием заготовки в спутнике на одном участке, а на остальных — без него 	Для обработки изделий сложной конфигурации. Участок I без спутников, участок II со спутниками

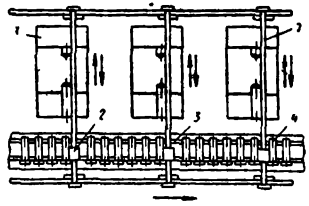
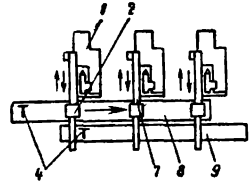
Обозначения: *1* — станок; *2* — межоперационный транспортер; *3* — транспортное устройство подачи в рабочую зону; *4* — питатель; *5* — накопитель; *6* — моечная машина; *7* — транспортер возврата спутников; *8* — спутник.

2. АЛ для обработки валов

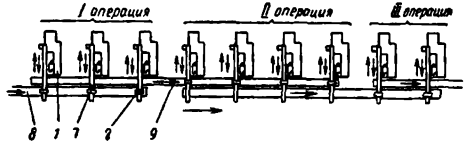
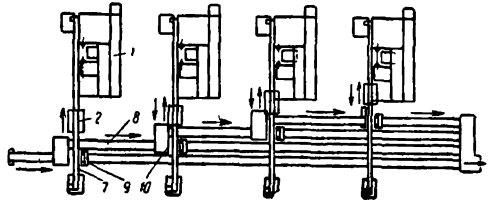
Автоматическая линия и эскиз	Назначение и характеристика
С фронтальным расположением оборудования, транспортированием с передней стороны станков на уровне центров с загрузкой в рабочую зону автооператорами со связью: жесткой  гибкой  	Для коротких АЛ из 3—5 станков с большим циклом обработки. Транспортирование валов производится при продольном расположении их осей относительно транспортного потока При коротких циклах обработки. Транспортирование валов производится при поперечном расположении их осей относительно транспортного потока
С фронтальным расположением оборудования, верхним транспортированием, загрузкой в рабочую зону: двухруким автооператором  	При коротких циклах обработки

Продолжение табл. 2

Автоматическая линия и эскиз	Назначение и характеристика
двумя однорукими 	При длинных циклах обработки
С поперечным расположением оборудования и сквозной зоной прохождения транспортного потока со связью: жесткой 	Необходимы станки, допускающие транспортирование через зону обработки. Наиболее короткий путь прохождения обрабатываемого изделия между станками Запас заготовок на транспортере пассивный
гибкой 	То же, но запас заготовок на транспортере активный

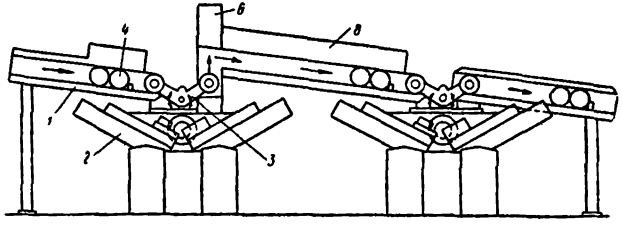
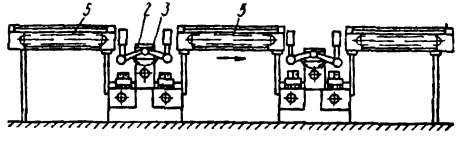
Автоматическая линия и эскиз	Назначение и характеристика
С поперечным расположением технологического оборудования и боковой зоной прохождения транспортного потока, с жесткой или гибкой связью без ветвящегося потока с обработкой: *последовательной*  параллельной 	Встраивается различное технологическое оборудование. Необходима одинаковая длительность цикла у различного оборудования Возможность выполнения одной операции на нескольких параллельно работающих станках

Продолжение табл. 2

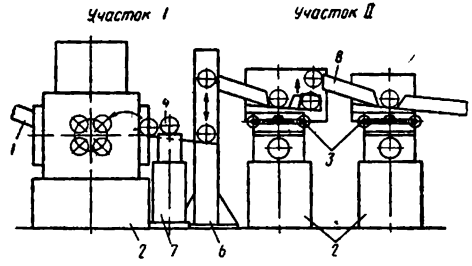
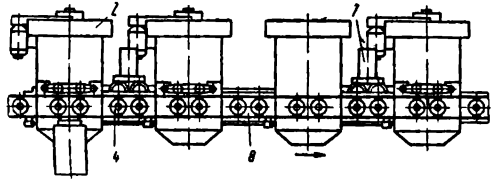
Автоматическая линия и эскиз	Назначение и характеристика
последовательно-параллельной  	Обеспечивается наиболее эффективное использование технологического оборудования
с ветвящимся потоком  	Применяется для повышения надежности работы АЛ

Обозначения: *1* — станок; *2* — автооператор; *3* — межоперационный транспортер; *4* — изделие-заготовка; *5* — загрузочное устройство; *6* — разгрузочное устройство, *7* — портальное устройство; *8* — подающий транспортер, *9* — отводящий транспортер, *10* — делитель потока

3. АЛ для обработки фланцев и дисков

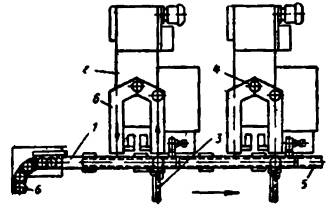
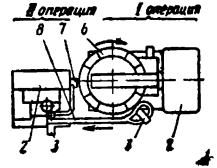
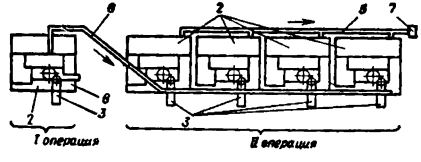
Автоматическая линия и эскиз	Назначение и характеристика
Короткая из однотипного оборудования с гибкой связью и транспортной системой: из лотковых транспортеров и автооператоров  из цепных транспортеров и автооператоров  	Для токарных и других операций при обработке деталей типа колец Встраивается в комплексные АЛ

Продолжение табл 3

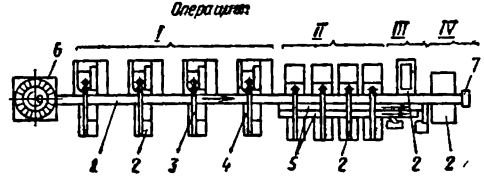
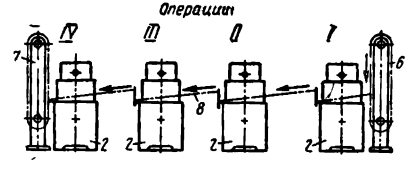
Автоматическая линия и эскиз	Назначение и характеристика
Комплексная с гибкой связью с транспортной системой из подъемников и лотков на каждом участке 	Для различных операций при обработке деталей типа колец (транспортируются на наружной цилиндрической поверхности)
с единым межоперационным транспортером и кантователями при многосторонней обработке 	Для различных операций при обработке деталей типа колец (транспортируются на торце) и некруглых фланцев

Обозначения *1* — подводящий транспортер *2* — станок *3* — двурукий автооператор, *4* — деталь-заготовка *5* — цепной магазин *6* — подъемник *7* — кантователь *8* — межоперационный транспортер

4 Компоновка АЛ для обработки зубчатых колес и колес-валов

Автоматическая линия	Компоновка	Назначение и характеристика
Короткая несквозная с гибкой или жесткой связью с выполнением операций параллельным		Для выполнения отдельных зубонарезных, контрольных и других операций или для выполнения в комплексной АЛ нескольких операций
последовательным		
параллельно последовательным		

Продолжение табл. 4

Автоматическая линия	Компоновка	Назначение и характеристика
Комплексная несквозная со связью: жесткой		Для обработки несложных зубчатых колес при относительно больших программах выпуска
гибкой		Для обработки сложных зубчатых колес при больших программах выпуска

Обозначения: *1* — подводящий транспортер; *2* — станок; *3* — загрузочно-разгрузочное устройство; *4* — изделие-заготовка; *5* — отводящий транспортер; *6* — накопитель заготовок; *7* — накопитель готовой продукции; *8* — межоперационный транспортер

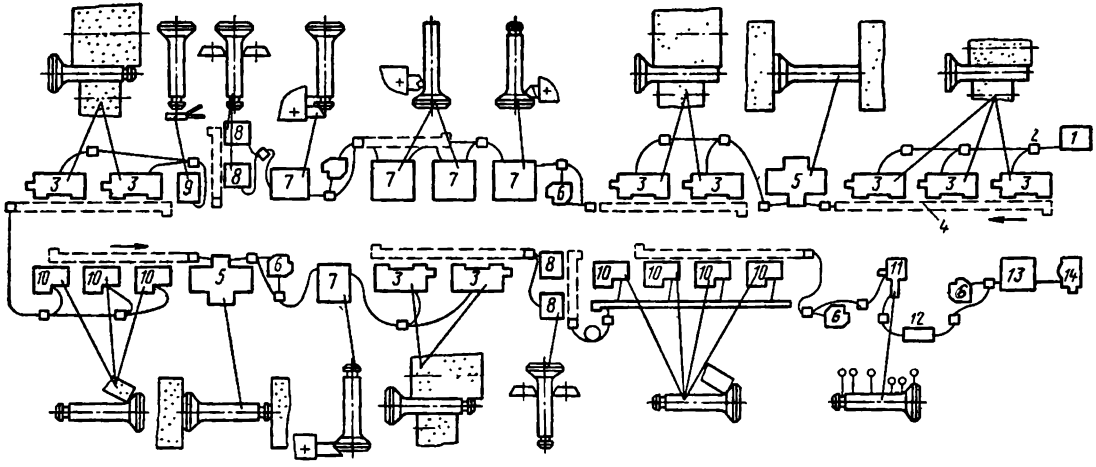


Рис. 5. Схема автоматической линии и эскизы обработки клапанов:

1 — бункер; *2* — подъемник; *3* — бесцентровый круглошлифовальный автомат; *4* — отводящий транспортер; *5* — торцешлифовальный автомат; *6* — магазин; *7* — роторный токарный автомат; *8* — автомат для обкатывания стержня; *9* — закалочный автомат; *10* — специальный фасочно-шлифовальный автомат; *11* — контрольный автомат; *12* — стенд для визуального контроля; *13* — автомат для антикоррозионной обработки; *14* — автомат для упаковки

ориентирован в положении I, правый — в положении II; обработка ведется одновременно, затем спутники меняют положение.

В АЛ для обработки валов (табл. 2) компоновку определяют следующие параметры: связь оборудования, расстановка оборудования в линии (фронтальная или поперечная), относительное расположение транспортной системы и станков (сбоку на уровне центров, над станками, через зоны обработки станков), разновидности конструктивного исполнения транспортной системы.

В АЛ для обработки фланцев и дисков, в том числе заготовок для зубчатых колес, включается небольшое количество однотипного, чаще всего токарного оборудования. В табл. 3 приведены компоновки АЛ для фланцев и дисков.

АЛ для обработки зубчатых колес делятся на две группы: короткие линии для выполнения отдельных операций (нарезание зубьев, их контроль, мойка и отделочные операции) и комплексные АЛ. В табл. 4 приведены различные компоновки АЛ для обработки зубчатых колес.

В комплексных АЛ для обработки зубчатых колес дополнительным определяющим фактором является разветвление потока, обеспечивающее возможность обработки в условиях различных длительностей циклов на отдельном оборудовании.

При автоматизации производства массовых деталей автомобильных и тракторных двигателей создаются комплексы линий, основанные на использовании типовых технологических процессов и типового оборудования. Учитывая потребности завода-заказчика, линию компонуют в каждом конкретном случае на заданную программу выпуска. На рис. 5 приведена типовая компоновка АЛ для обработки клапана Аналогичные линии изготовляют для обработки деталей типа тела вращения (толкателей, колец подшипников и т. д). Эти линии характеризуются гибкой связью, ветвящимся транспортным потоком; выполняются они как сквозными, так и несквозными. Из этих линий комплектуются автоматические цеха.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Общие требования. 1. Тщательность отработки технологичности конструкции объекта производства с учетом масштаба выпуска, особенностей автоматического транспортирования и базирования, а также применение прогрессивных методов обработки (базы для установки и крепления, технологические приливы для фиксации и транспортирования, увеличение жесткости, упрощение конфигурации и расположения отверстий, устранение угловых приливов и т. д.).

2. Стабильность размеров и качества материалов, распределение и постоянство припусков и твердости, предварительная правка прутковых и трубчатых заготовок. Недопустимость смещения центров отверстия, заусенцев, приливов, рваных торцов и других дефектов заготовок. Если заказчик АЛ не в состоянии обеспечить качественную заготовку, рекомендуется организовать участок для доведения заготовок по параметрам, выходящим за пределы, установленные техническими условиями. Для АЛ при выполнении первых операций целесообразно предусматривать мощность оборудования на 20—30% выше, чем мощность оборудования в неавтоматизированном производстве

на случай обработки заготовок с повышенным припуском (аналогичные требования сохраняются и для комплектующих изделий — втулок, подшипников и т. д)

3. Возможность выполнения на АЛ всех технологических операций (сборочных, визуального контроля и др. при необходимости в полуавтоматическом режиме).

4. Базирование заготовок при транспортировании должно быть таким, чтобы обеспечивалась их устойчивость. Для транспортирования заготовок, не имеющих базовых поверхностей для их ориентации, либо выполненных из непрочного материала (в процессе их перемещения возможен значительный износ базовых поверхностей), следует использовать приспособления-спутники или специальные транспортеры-перекладчики.

5 Использование в качестве технологических баз поверхностей, обеспечивающих свободный ввод, удобную фиксацию и закрепление заготовок в приспособлениях станков, минимальное число перемен положения и перезакреплений заготовок в процессе обработки.

6. Концентрация операций: переходы в одной операции; многосторонняя и многошпиндельная обработка; многопозиционные агрегаты, выполняющие различные технологические операции. При кон-

5. Точность обработки на АЛ по данным ЭНИМСа

Измеряемый параметр	Допуск, мм	Примечание
Межосевое расстояние крепежных отверстий	±0,075	Автоматические линии из агрегатных станков
Межосевое расстояние базовых отверстий	±0,025	
Межбазовое расстояние поверхностей	±0,04	
Несоосность отверстий	0,05—0,015	
Параметр шероховатости поверхности	Ra = 2,5 + + 0,63 мкм	
Неплоскостность поверхности на длине 200 мм	0,05	
Точность обточки валов нормальной жесткости с прибором активного контроля	0,02—0,03	Токарные участки автоматических линий
Точность обточки валов нормальной жесткости без прибора активного контроля	0,03—0,05	
Точность бесцентрового и центрового шлифования валов с прибором активного контроля	0,006—0,008	Шлифовальные участки автоматических линий для обработки деталей типа валов
Точность формы (некруглость)	0,002	
Точность хонингования отверстий в различных деталях	0,005—0,01	Финишные участки различных АЛ

Примечание Точность отверстий и резьб 1—2-го класса

центрации операций — разделение по возможности черновой и чистовой обработки, причем чистовую следует выполнять как можно ближе к концу линии. При обработке сложных изделий между черновыми и чистовыми операциями выполнять операции термической обработки, искусственное старение и т. д.; в конце АЛ — операции окончательной сборки, мойки, консервации и упаковки.

7. При определении последовательности операций — предусмотрение необходимых вспомогательных переходов, например для очистки от стружки и др.

8. При расчленении технологического процесса на операции, выполняемые на отдельных позициях линии или станках, — обеспечение примерно равной производительности на каждом из них (по каждой единице оборудования составляют развернутую циклограмму с учетом встройки в АЛ, по циклограмме устанавливают коэффициент загрузки каждой единицы оборудования).

9. Синхронизация технологических операций, обеспечивающая равную или кратную штучному времени продолжительность операций (синхронизация достигается изменением режимов обработки, конструкцией технологической оснастки, расчленением или укрупнением операций, внедрением многоместной обработки.)

10. Указание в технологических картах АЛ предусмотренного и необходимого для данной операции дополнительного оборудования, приспособлений, оснастки (приборы и оснастка для контроля обработанных изделий, приспособления для наладки инструментов на линии или вне ее, грузоподъемные устройства для съема тяжелых инструментов: фрез, оправок, шпинделей с абразивными кругами и т. д.)

Точность обработки. В табл. 5 приведены показатели точности обработки деталей автомобиля, получаемые на АЛ.

Точность расточных операций, выполняемых на АЛ, приведена далее.

Параметр	Точность обработки, мкм
Некруглость	0,5—1
Неперпендикулярность оси отверстия к торцу на диаметре 100 мм	5
Конусность на длине 50 мм	0,75
Параллельность осей расточенных отверстий на длине 100 мм	10
Смещение центров при двусторонней обработке	10

Оптимальная производительность АЛ. При создании АЛ для изделий массового производства задают программу выпуска. Однако она может быть больше оптимальной, обработка ведется на нескольких параллельно работающих АЛ. В этом случае определение и выбор оптимальной производительности является важной технико-экономической задачей. Выбор оптимальной производительности АЛ позволяет обеспечить наиболее полное использование высокопроизводительного оборудования благодаря максимальному коэффициенту его загрузки. Критерием оптимальной производительности АЛ может служить минимум приведенных затрат на изготовление изделий. Необходимо учитывать также эксплуатационные факторы: возможность быстрейшего освоения АЛ, удобство переналадки и ремонта, перехода на выпуск новой продукции и т. д.

В качестве примера на рис. 6 показан график приведенных затрат на 1000 деталей типа валов (длиной до 360 мм) в зависимости от программы выпуска:

$$S_t = \frac{(C_t + E_н K_t)}{N} 1000,$$

где S_t — приведенные затраты на 1000 шт. деталей, руб.; C_t — эксплуатационные расходы на программу выпуска, руб.; $E_н$ — отраслевой нормативный коэффициент; K_t — капитальные вложения, руб., N — годовая программа, шт.

Программа выпуска деталей в 400 тыс. шт. в год является неэкономичной, так как некоторое технологическое оборудование недогружено на 20—30%. При этом каждая из технологических операций выполняется на одном станке. Наиболее оптимальной для валов этой группы является программа выпуска 800 тыс. шт. При этом ряд технологических операций выполняется на параллельно работающих станках.

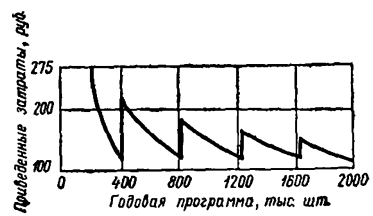


Рис. 6. Выбор оптимальной производительности АЛ

В табл. 6 приведены рекомендации ЭНИМСа и СКБ по оптимальной годовой программе выпуска на АЛ для обработки ряда типовых деталей.

Инструмент, применяемый на АЛ, должен отличаться от инструмента, применяемого на обычных станках, повышенной жесткостью благодаря минимальным вылетам или большим сечениям, повышенной точностью по диаметральным размерам и положению режущих кромок относительно оси вращения вследствие тщательной заточки и доводки, повышенной и стабильной стойкостью, взаимозаменяемостью и быстросменностью. Он должен быть максимально приспособлен для предварительной настройки его на размер вне станка и иметь устройства для дробления стружки. Инструмент для АЛ должен быть изготовлен по специальным техническим условиям (см. **Организационно-технические** основы эксплуатации автоматических линий. Вып. РМЭ-III-2. Технические требования на основные виды режущего инструмента, применяемого на автоматических линиях. М., НИИМАШ, 1975; **Организационно-технические** основы эксплуатации автоматических линий. Вып РМЭ-Ш-8. Организация системы инструментального хозяйства автоматических линий. Абразивный инструмент. М., НИИМАШ, 1975)

Для эксплуатации инструмента на АЛ необходимо предусматривать тару для его перевозки; чехлы, предохраняющие от забоин и поломок; устройства для хранения .(инструментальные шкафы, тумбочки, стеллажи и т. д.); станки для заточки и доводки; контрольно измерительные приборы, приспособления для настройки с необходимыми эталонами, стенды для испытания, балансировки, проверки твердости абразивов и т. д.

Особенности выбора режимов резания. Режимы резания на АЛ рассчитывают после разработки маршрута технологического процесса, выбора оборудования и определения несовмещенного вспомогательного времени. Особенности выбора режимов резания следующие: при

6. Оптимальная годовая программа выпуска изделий на АЛ

Изделия	Характеристика изделия	Рекомендуемая программа выпуска при двухсменной работе, тыс. шт./год
Ступенчатые валы с точностью обработки 2-го класса	Наибольший диаметр до 40 мм, длина 100—360 мм	⩽800
	Наибольший диаметр 32—65 мм, длина 200—500 мм	⩽400
	Наибольший диаметр 50—100 мм, длина 320—1000 мм	⩽250
Одно- и двухвенцовые зубчатые колеса с точностью обработки 6-й степени	Наибольший диаметр 50—250 мм без шлифовки зубьев шестерен	100—180 (в зависимости от размеров обрабатываемой детали)
Фланцы и диски с точностью обработки 2-го класса	Наибольший диаметр 50—250 мм	100—180 (в зависимости от размеров обрабатываемой детали)
Корпусные детали с точностью обработки 2-го класса, отдельных поверхностей 1-го класса	Стальные	100—150
	Чугунные	200—250
	Алюминиевые	300—500
Шарикоподшипники 40—160 мм		1000—4000
Клапаны двигателей	—	2000—2500
Толкатели клапанов, поршневые пальцы	—	3000—4000
Штоки амортизаторов	—	800—1200

повышении скорости резания уменьшается время цикла, но увеличиваются потери времени, связанные с повышенным износом инструментов; износ инструмента приводит к остановке оборудования для его смены; режущий инструмент с большим периодом стойкости может быть заменен в нерабочее время (обед, между сменами и т. п.).

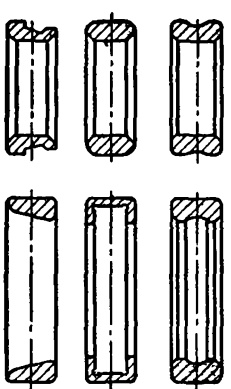


Рис. 7. Кольца подшипников, обрабатываемые на АЛ

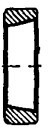
При выборе режимов резания на АЛ, например скорости резания V, необходимо рассматривать скорость резания $V_{\min э}$, при которой себестоимость обработки изделия является минимальной, предельную скорость резания $V_{\max э}$, при которой себестоимость обработок изделия на одном станке становится равной себестоимости обработки на двух станках с более низкими режимами резания. При $V > V_{\max э}$ целесообразно установить дополнительный станок. При $V < V_{\min э}$ следует принять $V_{\min э}$. Если $V_{\min э} < V < V_{\max э}$, то расчет режимов резания ведут по заданной производительности.

Типизация технологического процесса. Последовательность разработки типового технологического процесса для АЛ: класси-

7. Технология изготовления наружных колец подшипников в типовых автоматических линиях (см. табл. 8)

Порядок изготовления	Тип подшипников		
	Роликоподшипники конические	Роликоподшипники цилиндрические	Шарикоподшипники радиальные
Заготовка			
Токарная обработка			
Клеймение			—
Термообработка	В автоматически действующих термических агрегатах		
Шлифование торцов			
Шлифование наружной цилиндрической поверхности			
Шлифование цилиндрических поверхностей опорных бортов	—		—
Шлифование дорожек качения			

Продолжение табл 7

Порядок изготовления	Тип подшипников		
	Роликоподшипники конические	Роликоподшипники цилиндрические	Шарикоподшипники радиальные
Шлифование торцовых поверхностей опорных бортов	—		—
Отделка дорожек качения			

фикация обрабатываемых изделий с учетом их размеров и конструктивно-технологических особенностей; выбор типового изделия-представителя, имеющего наибольшее количество конструктивных и технологических элементов, характерных для рассматриваемой размерной группы однотипных изделий; выбор заготовки, технологических баз и т. д с выявлением необходимого обрабатывающего, контрольного, сборочного и другого технологического оборудования; установление оптимальной годовой программы.

В СКБ Минстанкопрома по проектированию АЛ разработаны типовые технологические процессы на большинство обрабатываемых изделий. В качестве примера рассмотрим методику разработки технологического процесса изготовления колец подшипников.

На рис. 7 показаны различные конструкции наружных и внутренних колец подшипников, обрабатываемых в типовых АЛ. В табл 7 приведен типовой технологический процесс механической обработки наружных колец подшипников в типовых АЛ.

Типаж оборудования типовых АЛ для обработки шариковых подшипников приведен в табл. 8. На рис. 8 приведена типовая структурная схема комплекса АЛ для изготовления колец подшипников. Количество потоков параллельно работающего оборудования выбирают в зависимости от заданной программы выпуска.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Принципы построения систем управления АЛ такие же, как и других агрегатов (гл. 6).

Классификация систем управления АЛ представлена на рис. 9, а далее приведены особенности их применения.

Централизованная система управления АЛ с жесткими транспортными связями без выделения автономного управления отдельными

8 **Типаж станков типовых АЛ для обработки шариковых подшипников**

Кольца	Операция	Оборудование	Диаметр колец, мм			
			24—43	40—62	62—80	80—100
Наружные	Токарная обработка	Многошпиндельный прутковый токарный автомат	1265П6		1А290-6	
		Одношпиндельный токарный автомат	—	—	МА-1169	
	Шлифование торцовых и наружных поверхностей	Двусторонний торцешлифовальный автомат	СА3М1 3344АБ			
		Бесцентровый круглошлифовальный автомат	СЛ510			
	Шлифование и полирование	Желобошлифовальный автомат	3484ГВ			
		Полировально-доводочный автомат	Л3-194А			Л3-195А
Внутренние	Токарная обработка и клеймение	Многошпиндельный прутковый токарный автомат	КА-106	1265М6	1А290-6	
		Одношпиндельный токарный автомат	4С-3	МА-1169		МА-1179
		Пресс для клеймения	Л308-Р1	6Р-43		
	Шлифование дорожек качения	Желобошлифовальный автомат	3474ГВ			3475НВ 3475ГВ
	Шлифование отверстия и полирование дорожки качения	Внутришлифовальный автомат	3483В 4384В	3484В		3485В
		Полировально-доводочный автомат	Л3-194А			Л3-195А

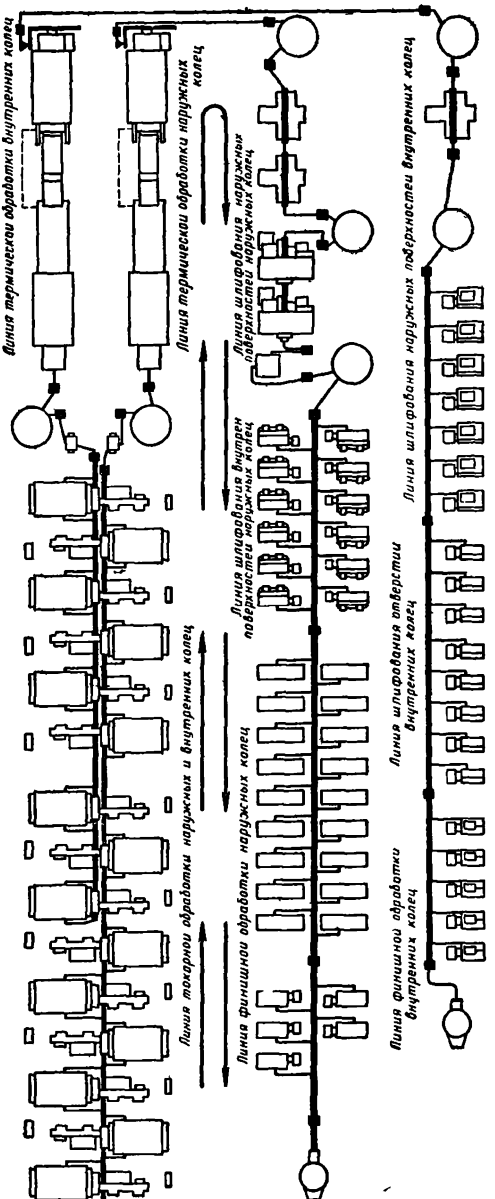


Рис. 8. Структура комплекса АЛ для изготовления колец подшипников

агрегатами имеет относительно простую конструкцию вследствие однотипных блокировок. Однако коэффициент использования таких линий невелик, так как при ликвидации отказов и техническом обслуживании любого из агрегатов останавливается вся линия.

При автономном управлении в АЛ с жесткой связью наладчик может вмешиваться в работу агрегатов для устранения отказов, смены инструментов и т. д. без остановки всей линии. При этом усложняется электросхема из-за введения дополнительных органов управления, сигнальной аппаратуры, блокировочных устройств.

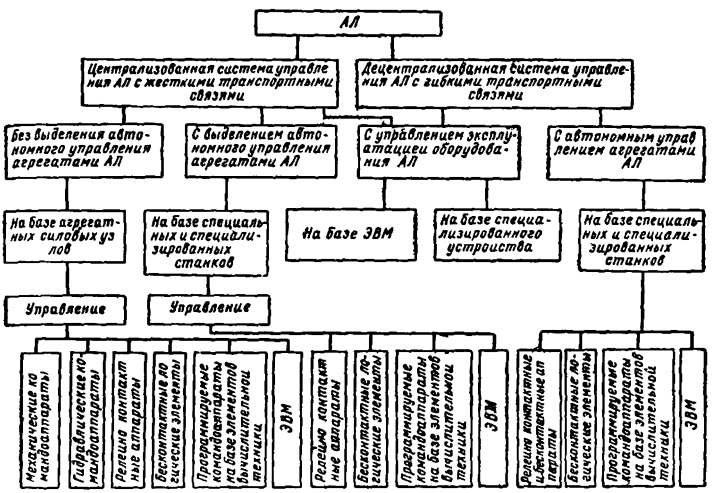


Рис. 9. Классификация систем управления АЛ

При децентрализованном управлении АЛ с гибкими транспортными связями обеспечивается автономное управление: возможность независимой работы отдельных агрегатов линии с учетом действительных запасов полуфабрикатов в накопителях, установленных перед агрегатом и после него. При этом значительно усложняется электросхема АЛ вследствие введения дополнительных комплектов аппаратов.

Режимы работы АЛ. АЛ работает в двух или трех режимах: автоматическом, полуавтоматическом и наладочном.

В автоматическом режиме все механизмы АЛ работают в последовательности, заданной циклограммой и обусловленной схемой управления без вмешательства наладчика.

В полуавтоматическом режиме переход на следующий цикл подтверждается только после нажатия кнопки.

В наладочном режиме все механизмы АЛ работают независимо, с соблюдением необходимых блокировок. Управление движением механизмов осуществляется от кнопок управления.

Системы управления АЛ с использованием вычислительной техники. Системы управления от ЭВМ должны выполнять следующие вычислительно-логические операции: стандартные программные циклы по

внешним и внутренним сигналам; обращение к внешним устройствам и стандартным программам по сигналам датчика времени; обращение к внешним устройствам и стандартным программам по командам внутренней организующей программы; ввод, вывод и редактирование символьной информации с символьной визуализацией ее в текстовой форме; ввод и вывод дискретных управляющих сигналов с датчиков устройств станочного управления и на исполнительные реле; ввод аналоговой информации с датчиков — измерителей параметров; ввод и вывод информации при обслуживании многих абонентов; работу в режиме прерывания по внешним запросам.

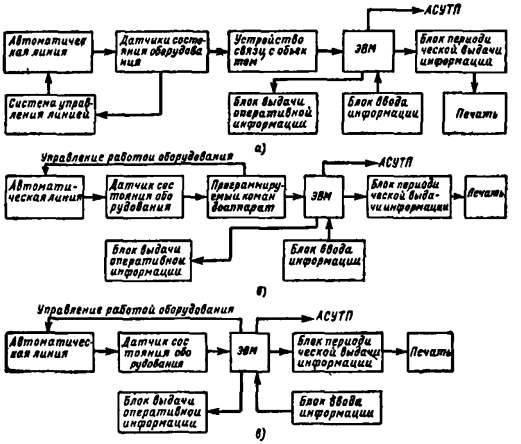


Рис. 10. Принципиальные схемы систем управления автоматическими линиями от ЭВМ

Для выполнения этих операций в состав управляюще-вычислительного комплекса системы управления должны входить следующие функциональные модули: блоки дискретных входов на логическом и релейном уровнях; блоки инициативных входов; блоки релейных выходов контактных и бесконтактных; алфавитно-цифровые дисплейные устройства с клавиатурой для диалога; устройство быстрой печати алфавитно-цифровой информации типа АЦПУ или электрической пишущей машинки; внешняя память на магнитных дисках или магнитных лентах; программируемый таймер; блоки аналоговых выходов. Кроме этого, в состав управляюще-вычислительного комплекса должны входить стандартные устройства.

Управляюще-вычислительный комплекс строится на серийных средствах вычислительной техники 3-го поколения с помощью отечественной агрегатной системы средств вычислительной техники в микроминиатюрном исполнении АСВТ-м, а также малых ЭВМ серии «Ряд», входящих в единую систему ЭВМ (ЕС ЭВМ) и т. д.

Принципиальные схемы систем управления автоматическими линиями от ЭВМ показаны на рис. 10.

На рис. 10, *а* ЭВМ используется в качестве информационной машины. Управление циклом работы линии производится от электро-

шкафа с релейной, бесконтактной или логической аппаратурой, а ЭВМ или специализированное вычислительное устройство в системе управления эксплуатацией линии получает информацию от датчиков (конечных выключателей, реле, кнопок переключения и т. д.), что позволяет осуществлять контроль за производственным процессом в целом и за отдельными ключевыми объектами; диагностику состояния оборудования на основании получения объективной информации с передачей сведений на рабочее место наладчика; получение оперативной и долговременной информации по текущему обслуживанию производства.

Управление циклом работы линии (рис. 10, *б*) осуществляется от программируемых командоаппаратов, а управление эксплуатацией —

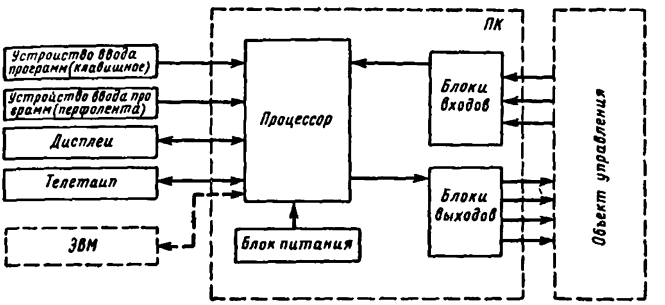


Рис. 11. Блок-схема программируемого командоаппарата

от ЭВМ, которые имеют возможность достаточно просто сопрягаться между собой.

Программируемые командоаппараты (ПК) строят с использованием элементной базы вычислительных машин.

В программируемую часть командоаппарата — процессор (рис. 11) заложена логическая связь между входами и выходами в зависимости от состояния первых. К входам ПК присоединяют все датчики, установленные на АЛ (конечные выключатели, реле давления, кнопки и т д) Входы и выходы ПК рассчитаны на присоединение датчиков без применения промежуточных усилительных устройств. При работе программируемого командоаппарата в процессоре опрашиваются все входы, и их состояние (0 или 1) сравнивается с программой, введенной в его память. При совпадении состояний входов с комбинацией, заданной программой, выдается команда на соответствующий выход. Дополнительные логические возможности программируемых командоаппаратов: отсчет времени, наращивание памяти, прямой и обратный счет, сдвиг информации (регистровая схема). В программируемых командоаппаратах программирование ведется с использованием дисплея в символах обычных электрических схем и визуальным контролем любого участка программы путем вызова его на дисплей Программа может быть введена с помощью клавишной панели и с перфоленты, а также вызвана из памяти программируемого командоаппарата и воспроизведена на перфоленте Программируемый командоаппарат может быть соединен с телетайпом, с помощью которого также вводится или вызывается (и воспроизводится) программа.

Отличительная особенность программируемых командоаппаратов — их сравнительная простота и дешевизна (по сравнению с ЭВМ), возможность установки и работы в цеховых условиях рядом с управляемым оборудованием, упрощенная запись программ и их отладка, возможность обслуживания в условиях эксплуатации цеховыми наладчиками без привлечения специалистов по вычислительным машинам. В последнем случае ЭВМ в системе управления эксплуатацией линии устанавливается в специальном помещении и может дополнительно принимать информацию, анализировать и выдавать команды на станки и другие агрегаты для управления их работой.

Благодаря использованию ЭВМ на рабочее место обслуживающего персонала с помощью блока выдачи оперативной информации (дисплея или телетайпа) выдается информация об отказах оборудования, выпуск продукции, о количестве отработанных каждым инструментом циклов и т. д. Блок периодической выдачи информации обеспечивает выдачу руководству цеха обработанной информации за смену, сутки, неделю и т. д. Сюда относятся сводка простоев за определенный промежуток времени, данные о работе любого механизма, сведения по производительности и т. д.

Возможно управление циклом работы и эксплуатацией линии с помощью одной ЭВМ, что существенно упрощает комплект необходимых технических средств (см. рис. 10, *в*). Тенденция развития вычислительных машин для управления АЛ — их специализация для решения данной задачи. Опыт использования универсальных вычислительных машин для управления АЛ не дал положительных результатов из-за их избыточности, невозможности работать в цеховых условиях, сложности обслуживания, невозможности непосредственной связи с электрооборудованием линии. Во всех случаях система управления эксплуатацией автоматических линий должна быть связана с АСУ технологическими процессами АСУТП завода (цеха), что позволяет вести периодическую передачу информации для решения общезаводских задач (планирование производства, материально-техническое снабжение и т. д.).

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Производительностью АЛ называется количество изделий, выпускаемых в единицу времени. При проектировании и эксплуатации АЛ различают несколько видов производительности.

Номинальная производительность $Q_н$ зависит от длительности самой продолжительной операции на АЛ и определяется по формуле

$$Q_н = \frac{p}{T_{max}},$$

где $T_{max} = t_м + t_в$ — длительность цикла самой продолжительной (лимитирующей) операции, мин; $t_м$ — машинное время цикла самой продолжительной операции (время, затраченное непосредственно на обработку детали), мин; $t_в$ — вспомогательное время цикла самой продолжительной операции (время, затраченное на холостые ходы, не совмещенные с машинным временем в течение одного цикла), мин; p — количество изделий, выпускаемых АЛ за один цикл (количество потоков), шт.

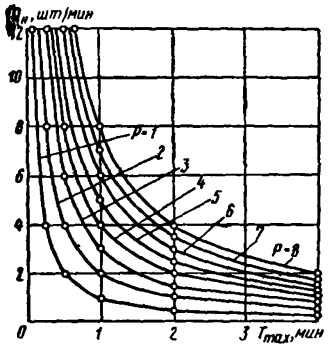


Рис. 12. Зависимость номинальной производительности $Q_н$ от T_{max} и количества выпускаемых изделий в течение цикла

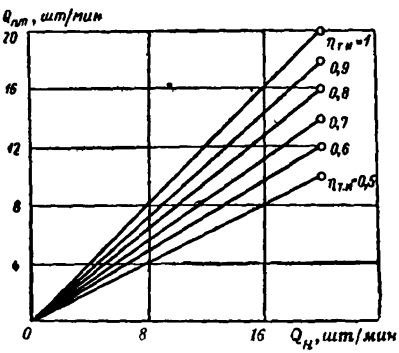


Рис. 13. Зависимость потенциальной производительности $Q_п$ от коэффициента технического использования $\eta_{т.и}$

В современных АЛ $T_{max} \approx 10 \div 240$ с. Значения $Q_н$ в зависимости от p и T_{max} приведены на рис. 12.

Длительность цикла самой продолжительной операции определяют из циклограммы работы АЛ.

Технологическая производительность $Q_т$ — фиктивная производительность (шт/мин) без учета потерь на вспомогательные ходы, показывающая степень непрерывности процесса и использования АЛ по времени:

$$Q_т = \frac{1}{t_м}, \quad t_в = 0.$$

Проектная производительность $Q_п$ — производительность (шт/мин) с учетом потерь времени из-за плановых и внеплановых ремонтов и из-за планового и внепланового технического обслуживания АЛ:

$$Q_п = Q_н \eta_{т.и},$$

где $\eta_{т.и}$ — коэффициент технического использования (см. табл. 10).

Фактическая средняя производительность $Q_ф$ — производительность реальной АЛ в условиях эксплуатации за рассматриваемый период времени:

$$Q_ф = Q_н \eta_{ф.т.и},$$

где $\eta_{ф.т.и}$ — фактический коэффициент технического использования (см. табл. 10).

Потенциальная производительность $Q_{п.т}$ — производительность участка (агрегата) АЛ без учета влияния соседних участков (агрегатов):

$$Q_{п.т} = Q_н \eta_г,$$

где $\eta_г$ — коэффициент готовности участка (агрегата) АЛ (см. табл. 10).

Зависимость потенциальной производительности от коэффициента технического использования показана на рис. 13.

НАДЕЖНОСТЬ

При расчете производительности АЛ пользуются показателями надежности (табл. 9) и комплексными показателями надежности (табл. 10).

Надежность — свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Надежность характеризуется в основном безотказностью, ремонтопригодностью и долговечностью.

Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки на отказ

Ремонтопригодность — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Долговечность — свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Определения даны по ГОСТ 13377—75. Показатели надежности для некоторых узлов, агрегатов и инструментов приведены далее и в табл. 11, 12, 13

Средняя длительность простоев в минутах из-за отказов нормализованных и типовых узлов, приходящаяся на 100 мин работы, приведена далее [7].

Силовые узлы

Гидравлическая силовая головка (без шпиндельной коробки) самодействующая габаритов:	
2, 3, 4	0,18
5, 6, 7	0,25
несамодействующая с гидроприводом	0,25
Силовая головка для сверления глубоких отверстий	0,32
Подрезно-расточная головка с планшайбой	0,35
Пинольная головка подрезно-расточная	0,42
Силовая головка с кулачковым приводом подачи	0,21
Силовой стол с гидроприводом	0,23

Шпиндельные узлы

Сверлильно-расточная коробка с числом шпинделей:	
до 25	0,03
св. 25	0,05
Сверлильно-резьбонарезная коробка с числом шпинделей.	
до 15	0,06
св. 15	0,10

Приспособления

Механизмы фиксации	0,08
Механизмы зажима:	
напрямую	0,01
через рычажную систему (или клин)	0,03
Кондукторные втулки	0,005a
Приспособление-спутник:	
без зажимного устройства	0,01
с простым зажимным устройством	0,03
со сложным устройством	0,05
Загрузочное и разгрузочное приспособления	0,50

Устройства линии

Гидравлическое оборудование участка линии	0,17 + 0,06b
Электрооборудование	
фрезерного участка	0,50
других участков	1,43
Централизованная система охлаждения режущих инструментов	0,08n
Транспортер стружки	0,24
Резьбонарезная установка с числом шпинделей:	
стационарная:	
до 15	0,07
св. 15	0,12
с быстрым подводом:	
до 15	0,09
св. 15	0,14
Фрезерная бабка с приводом вращения шпинделя:	
ременным	0,12
шестеренным	0,04
Одношпиндельная расточная бабка с ременным приводом вращения шпинделя	0,12

Транспортные устройства

Транспортер деталей:	
ленточный с храповыми собачками	0,06 + 0,06l
с круглыми штангами и храповыми собачками	0,12 + 0,06l
с круглыми штангами и жесткими штырями	0,12 + 0,02
Толкатель	0,02
Поворотный стол	0,10
Подъемно-поворотный стол	0,13
Поворотный барабан	0,03
Кантователь для поворота детали вокруг двух осей	0,12
Простои из-за попадания стружки:	
чугунной	0,02
стальной	0,10
алюминиевой:	
без смыва	0,07
со смывом	0,03

Обозначения. l — длина транспортера; a — число втулок, b — число распределительных гидроаппаратов, n — число станков.

9. Показатели надежности

Термин	Определение	Расчетная формула	Ограничения
Наработка *, мин	Продолжительность или объем работы АЛ	$\sum t_{\text{р}}$	Сумма тех времен, когда линия работала (выпускала продукцию)
Наработка * на отказ $T_{\text{р}}$, мин, цикл.	Отношение наработки АЛ к математическому ожиданию числа ее отказов в течение этой наработки (математическое ожидание времени между отказами)	$T_{\text{р}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{\text{р}}}{n}$ $T_{\text{р}} = \frac{1}{\lambda}$	λ — при экспоненциальном распределении наработки между отказами
Среднее * время восстановления $T_{\text{в}}$, мин	Математическое ожидание времени восстановления работоспособности	$T_{\text{в}} = \frac{\sum_{i} t_{\text{в}}}{n}$ $T_{\text{в}} = \frac{1}{\mu}$	μ — при экспоненциальном распределении восстановления
Параметр потока отказов * λ (1/мин); [1/цикл]	Плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени	$\omega(t) = \lambda = \frac{1}{T_{\text{р}}}$	Для экспоненциального распределения наработки между отказами
Параметр потока восстановления μ [1/мин]	Плотность вероятности восстановления, определяемая для рассматриваемого момента времени	$h(t) = \mu = \frac{1}{T_{\text{в}}}$	Для экспоненциального распределения времени восстановления

* Определения по ГОСТ 13377—75 применительно к АЛ.

16. Комплексные показатели надежности

Термин	Определение	Расчетная формула	Ограничения
Коэффициент готовности * $\eta_р$	Вероятность того, что АЛ окажется работоспособной в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование АЛ по назначению не предусматривается	$\eta_р = \frac{T_р}{T_р + T_в}$ $\eta_р = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$ $\eta_р = \frac{1}{1 + B}$	Порядок обслуживания обеспечивает немедленное начало восстановления отказавшего элемента $\eta_р \approx$ $\approx 0{,}75 \div 0{,}99$
Коэффициент технического использования * $\eta_{ти}$	Отношение математического ожидания времени пребывания АЛ в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий времени пребывания АЛ в работоспособном состоянии, времени простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтами за тот же период эксплуатации	$\eta_{ти} = \frac{T_р}{T_р + T_{рем} + T_{обсл}}$ $\eta_{ти} = \eta_г \eta_э$	1. Время простоев по организационным причинам не учитывается 2. Время $T_{рем}$ и $T_{обсл}$ учитывается как плановое, так и внеплановое на ремонты и техническое обслуживание $\eta_{ти} \approx 0{,}7 \div$ $\div 0{,}95$
$\eta_{ф.\,т.\,и}$ — фактический коэффициент технического использования	Отношение математического ожидания времени пребывания АЛ в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий времени пребывания АЛ в работоспособном состоянии, времени простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтами простоев по организационным причинам (отсутствие заготовок, энергии, СОЖ, инструмента и т. д.) за тот же период эксплуатации	$\eta_{ф.\,т.\,и} = \frac{T_р}{T_р + T_{рем} + T_{обс} + T_{орг}}$ $\eta_{ф.\,т.\,и} = \eta_{ти} \eta_э$	$\eta_{ф.\,т.\,и} \approx 0{,}5 \div 0{,}9$

Продолжение табл. 10

Термин	Определение	Расчетная формула	Ограничения
$\eta_з$ — коэффициент загрузки	Отношение суммы математических ожиданий времени пребывания АЛ в работоспособном состоянии, времени простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтами за некоторый период эксплуатации, к сумме математических ожиданий времени пребывания АЛ в работоспособном состоянии, временем простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтами, и простоев по организационным причинам за тот же период эксплуатации	$\eta_з = \frac{T_р + T_{обс} + T_{рем}}{T_р + T_{обс} + T_{рем} + T_{орг}}$ $\eta_з = \frac{\eta_{ф.т.и}}{\eta_{ти}}$	$\eta_з \sim 0{,}70 \div 1{,}00$
$\eta_э$ — коэффициент эксплуатации	Отношение суммы математических ожиданий времени пребывания АЛ в работоспособном состоянии и времени восстановления работоспособности к сумме математических ожиданий времени пребывания АЛ в работоспособном состоянии, времени восстановления работоспособности, времени простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтами	$\eta_э = \frac{T_р + T_в}{T_р + T_в + T_{обс} + T_{рем}}$	
B — удельная длительность восстановления работоспособности	Отношение математического ожидания времени восстановления работоспособности к наработке на отказ		

Примечание. В приложения к ГОСТ 13377—75 введены следующие обозначения вместо $\eta \to K$; $B \to \rho$; $T_р \to T_0$.

11. Потери времени из-за выхода из строя режущих инструментов [7], мин

Инструмент	$t_{з.и}$	$t_{с.и}$
Спиральное сверло малого диаметра или с большим отношением длины к диаметру	1,0	0,18
Спиральное сверло среднего размера	1,0	0,12
Метчик диаметром, мм:		
до 8	1,0	0,30
8—25	1,0	0,27
Зенкер, цековка	1,0	0,18
Развертка	1,5	0,18
Черновой резец в борштанге	1,5	0,20
Чистовой резец в борштанге	3,0	0,18
Торцовая фреза диаметром, мм:		
100	5	0,12
200	7	0,12
300	10	0,12
400	12	0,12
Оправка с набором фрез	12	0,8

Примечание. $t_{з.и}$ — время, необходимое на замену одного инструмента при его размерном или физическом износе; $t_{с.и}$ — средняя длительность простоев из-за случайных неполадок и поломок инструмента, приходящаяся на период стойкости.

12. Показатели надежности АЛ [6]

Узлы	Показатели надежности	
	$\lambda_l \cdot 10^6$	$B_l \cdot 10^6$, мин/цикл
Силовой или подкатной стол:		
вместе с многошпиндельной коробкой	0,143	0,300
вместе с подрезно-расточной или фрезерной бабкой	0,200	0,800
Приспособление для фиксации и зажима:		
заготовок средней сложности	0,139	1,000
заготовок со сложными механизмами и для точной обработки	0,278	2,000
спутников (типовое)	0,100	0,500
Привод транспортного устройства с механизмом поворота штанг	0,588	4,000
Приспособление-спутник:		
без зажимного устройства	0,010	0,100
с зажимным устройством	0,100	0,500
Станция зажима или отжима заготовок в приспособлениях-спутниках (механический ключ)	0,286	1,429
Станция автоматической загрузки или разгрузки заготовок	2,000	0,400
Устройство для автоматической запрессовки колец или втулок в заготовки	0,100	0,100
Кондукторные подвижные плиты	0,010	0,050
Устройство для контроля наличия отверстий в заготовках	0,200	2,000
Быстросменный патрон с удлинителем сверл, зенкеров, разверток, метчиков	0,001	0,002
Подрезная головка со скользящей втулкой (пинольная) и с плавающим патроном	0,010	0,100
Борштанга во вращающейся втулке или со скользящей втулкой и с плавающим патроном	0,040	0,010

Продолжение табл 12

Узлы	Показатели надежности	
	$\lambda_l \cdot 10^3$	$B_l \cdot 10^3$, мин/цикл
Станция для поворота заготовок или приспособлений-спутников, кантователь	0,100	1,000
Электрооборудование линий из 10 станков	1,000	7,500
Гидрооборудование линии из 10 станков (без насосных установок)	2,000	17,400
Возвратный транспортер	1,667	20,000
Моечная станция	0,100	1,000
Непрерывно действующие узлы:		
Система охлаждения режущего инструмента.		
без резервной насосной установки	0,400 *	0,200
с резервной насосной установкой	0,200 *	0,600
Насосная установка гидростанции	0,010 *	0,100

Примечание Величина $\lambda_l \cdot 10^3$ имеет размерность 1/цикл, а в строках со знаком * — 1/мин

13. Наработка на отказ и время на замену инструментов при их отказе (поломке), мин [6]

Инструмент	Наработка на отказ в периодах стойкости инструмента при обработке			Время устранения отказа инструмента	
	стали	чугуна	алюминия	с кондукторной плитой	без кондукторной плиты
Сверло спиральное диаметром, мм					
до 100	15	25	35	5	2
от 10 до 15	20	35	40	6	3
св. 15	60	100	150	12	8
Метчик:					
до М12	10	20	25	6	3
М14 и более	20	35	50	9	5
Зенкер	30	50	70	9	5
Цековка (зенкер торцовый)	30	50	70	9	5
Развертка	40	65	80	12	8
Резец:					
черновой	35	50	70	4	2
чистовой	40	65	90	4	2
Фреза:					
торцовая	60	100	150	—	15
дисковая	40	70	90	—	20

КОЭФФИЦИЕНТ ГОТОВНОСТИ

Коэффициент готовности — основная характеристика комплексного показателя надежности, так как все остальные коэффициенты могут быть выражены через него. Ими можно задаться детерминированно в пределах, указанных в табл. 10, исходя из условий эксплуатации и степени организации заводов-потребителей.

Для оценки коэффициента готовности АЛ необходимы следующие данные: коэффициент готовности каждой единицы оборудования в автоматической линии; структурная компоновка АЛ (жесткосблокированная, однопоточная, разделенная на участки, многопоточная, с гибкой связью и т. д.); циклы работы оборудования; емкости накопительных устройств; параметры потоков восстановлений (отказов) каждой единицы оборудования; количество наладчиков и организация обслуживания АЛ.

Оценка коэффициента готовности единицы оборудования. Параметр потока отказов и удельные потери времени восстановления единицы оборудования АЛ определяют по показателям надежности нормализованных и типовых узлов, инструмента и комплектующих изделий, входящих в единицу оборудования. Некоторые узлы оборудования работают непрерывно в течение цикла, а остальные — только часть цикла, т. е. они не могут отказать во время своего вынужденного простоя. Однако выход из строя хотя бы одного узла приводит к остановке всего агрегата. В табл. 12 даны комплексные показатели надежности для типовых узлов, входящих в АЛ. Инструмент выделен в отдельную группу (см. табл. 11, 13), так как его можно применять в оборудовании различного типа. Коэффициент готовности единицы оборудования подсчитывают по формуле $\eta_p = \frac{1}{1 + \sum_{i}^{n} B_i}$, где $\sum_{i}^{n} B_i$ — суммарная удельная длительность восстановления всех узлов оборудования. Параметр потока отказов $\lambda_j = \sum_{i}^{n} \lambda_i + \sum \lambda_{инс}$, где λ_i — параметр потока отказов нормализованного узла или комплектующих изделий, входящих в единицу оборудования; $\lambda_{инс}$ — параметр потока отказов инструмента, используемого на данной операции.

Оценка коэффициента готовности жесткосблокированной АЛ. Система управления жесткосблокированных однопоточных АЛ построена таким образом, что после выхода из строя одного из агрегатов останавливается вся АЛ на время восстановления отказавшего агрегата. Коэффициент готовности жесткосблокированной АЛ рассчитывают по формуле $\eta_{гл} = \frac{1}{1 + \sum_{i+1}^{n} B_j + \sum B_{о.у}}$, где B_j — удельная длительность восстановления j-й единицы оборудования; n — количество единиц оборудования в АЛ; $B_{о\ у}$ — удельная длительность восстановления общих устройств АЛ.

При заданных коэффициентах готовности единиц оборудования оценку коэффициента готовности жесткосблокированной АЛ рассчитывают методом приближений по табл. 14.

Метод приближений для жесткосблокированных АЛ по заданным коэффициентам готовности встроенных единиц оборудования заключается в следующем. Коэффициент готовности жесткосблокированной АЛ, состоящей из i единиц оборудования, подсчитывают по формулам

$$\eta_{лi} = \frac{\eta_{л\ i-1}}{1 + \eta_{л\ i-1} \frac{1 - \eta_i}{\eta_i}}; \quad \eta_{ло} = 1, \quad i = 0,$$

где $\eta_{л\ i-1}$ — коэффициент готовности жесткосблокированной АЛ из $i-1$ единиц оборудования; η_i — коэффициент готовности i-й единицы оборудования, встраиваемой в АЛ.

В табл. 14 приведены коэффициенты готовности $\eta_{гл\ i}$ в зависимости от $\eta_{л\ i-1}$ и η_i. Принимают $\eta_1 = \eta_{л\ i-1}$, а $\eta_2 = \eta_i$ по табл. 14 определяют из двух единиц. Принимают $\eta_i = \eta_3$, а $\eta_{л\ i-1} = \eta_{л2}$ и опреде-

14. Коэффициент готовности жест

η_i 10^3	980	960	940	920	900	880	860	840	820	800	780	760
980	960	941	922	903	883	864	845	825	806	787	767	748
960	941	923	904	886	867	847	830	811	792	774	755	736
940	922	904	886	868	851	833	815	797	779	661	743	724
920	903	886	868	851	834	817	800	782	765	747	730	712
900	883	867	851	834	818	801	784	768	751	734	717	700
880	864	848	833	817	801	785	769	753	737	721	705	688
860	845	830	815	800	784	769	754	738	723	707	692	676
840	825	811	797	782	768	753	738	724	709	694	679	663
820	806	792	779	765	751	737	723	709	694	680	665	651
800	787	774	761	747	734	721	707	694	680	666	652	638
780	767	755	743	730	717	705	692	679	665	652	639	625
760	748	736	724	712	700	688	676	663	651	638	625	612
740	728	717	706	695	683	672	660	648	639	624	612	599
720	709	699	688	677	666	655	644	633	621	610	598	586
700	690	680	670	659	649	639	628	617	606	595	584	573
680	670	661	651	642	632	622	612	602	591	581	570	559
660	651	642	633	624	614	605	595	586	576	566	556	546
640	631	623	614	606	597	588	579	570	561	551	542	532
620	612	604	596	588	580	571	563	554	545	536	527	518
600	592	585	577	570	562	554	546	538	530	521	513	504
580	573	566	559	552	544	537	529	519	511	506	498	490
560	550	547	540	553	527	520	513	506	498	491	483	475
540	534	528	522	515	509	502	496	489	482	475	468	461
520	514	508	503	497	491	485	479	473	466	460	453	446
500	494	489	484	479	473	468	469	456	450	444	438	431

косблокированной АЛ $\eta_{гл\ i} \cdot 10^3$

$\eta_{л\ i-1} \cdot 10^3$												
740	720	700	680	660	640	620	600	580	560	540	520	500
728	709	690	670	651	631	612	592	573	553	534	514	494
717	699	680	661	642	623	604	585	566	547	528	508	489
706	688	670	651	633	614	596	577	559	540	522	503	484
695	677	659	642	624	606	588	570	552	553	515	497	479
683	666	649	632	614	597	580	562	544	527	509	491	473
672	655	639	622	605	588	571	554	537	520	502	485	468
660	644	628	612	595	579	563	546	529	513	496	479	469
648	633	617	602	586	570	554	538	522	508	489	473	456
636	621	606	591	576	561	545	530	511	498	482	466	450
624	610	595	581	566	551	536	521	506	491	475	460	444
612	598	584	570	556	542	527	513	498	483	468	453	438
599	586	573	559	546	532	518	504	490	475	461	445	431
587	574	561	548	535	522	509	495	480	467	453	439	425
574	562	550	537	525	512	499	486	473	459	446	432	418
561	550	538	526	514	502	489	477	464	451	438	425	411
548	537	526	515	503	491	479	467	455	443	430	417	404
535	525	514	503	492	481	469	458	446	434	422	410	397
522	512	502	491	481	470	459	448	437	425	414	402	390
509	499	489	479	469	459	449	438	427	416	405	394	382
495	486	477	467	458	448	438	428	418	407	397	386	375
481	473	464	455	446	437	427	418	408	398	388	377	367
467	459	451	443	434	425	416	407	398	388	379	369	358
53	446	438	430	422	414	405	397	388	379	369	360	350
39	432	425	417	410	402	394	386	377	369	360	351	342
25	418	411	404	397	390	382	375	367	358	350	342	333

ляют $\eta_{л3}$ из трех единиц оборудования, и т. д. до тех пор, пока не переберут все i единиц встроенного оборудования.

В табл. 14 η_l и $\eta_{л\,i-1}$ даны с шагом $\Delta = 0{,}02$. Значения коэффициентов готовности, лежащих в интервалах $[\eta_l, \eta_l + 0{,}02]$ $[\eta_{л\,i-1}, \eta_{л\,i-1} + 0{,}02]$, определяют линейной аппроксимацией этих точек.

Оценка коэффициента готовности однопоточной АЛ, разделенной на участки накопителями. Простои, вызванные остановкой агрегата, встроенного в АЛ, не по собственным причинам, а по вине остального оборудования, называют наложенными. Производительность агрегата, встроенного в жесткосблокированную АЛ, $Q_j = Q_н\eta_{гл}$

Потенциальная производительность изолированного агрегата $Q_{пт\,j} = Q_{н_j}\eta_{гj}$, где $Q_{н_j}$ — номинальная производительность изолированного агрегата, $\eta_{гj}$ — коэффициент готовности агрегата.

Чем больше агрегатов встроено в жесткосблокированную АЛ, тем больше будут наложенные простои и, следовательно, меньше коэффициент готовности линии. Для уменьшения наложенных простоев жесткосблокированные АЛ делят на участки накопителями. Накопители исполняют роль компенсаторов простоев и способны либо запасать полуфабрикаты, если производительность предыдущего участка больше, чем последующего, либо в противном случае питать последующий участок. В зависимости от емкости бункерного устройства собственные простои участка будут не полностью передаваться на соседние участки, а лишь частично. Долю собственных простоев, которая переходит на соседний участок, принято выражать через коэффициент наложения потерь δ.

Коэффициент наложения потерь δ — это вероятностная доля потер участка по его собственным отказам, налагающаяся на потери соседнего участка по его отказам В жесткосблокированных АЛ коэффициент наложения потерь равен единице

Оценка коэффициента готовности однопоточной АЛ, разделенной на два участка. Коэффициент наложения потерь первого участка на второй определяют по формуле $\delta_{1-2} = \dfrac{T_{нал\,1-2}}{T_{в1}}$, где $T_{нал\,1-2}$ — математическое ожидание времени простоев второго участка по вине отказов первого; $T_{в1}$ — математическое ожидание времени восстановления первого участка

Коэффициент готовности двухучастковой однопоточной АЛ $\eta_{гл} = \dfrac{1}{1 + B_2 + \delta_{1-2}B_1}$, где B_2 — удельная длительность восстановления второго участка; B_1 — удельная длительность восстановления первого участка

Величины B_1 и B_2 рассчитывают по методике для жесткосблокированных АЛ:

$$B_1 = \frac{1 - \eta_{г1}}{\eta_{г1}}; \quad B_2 = \frac{1 - \eta_{г2}}{\eta_{г2}},$$

где $\eta_{г1}$, $\eta_{г2}$ — соответственно коэффициенты готовности первого и второго участков.

При условии одинаковой производительности участков, отсутствия одновременного простоя участков и безотказности накопителя коэффициент наложения потерь двухучастковой однопоточной АЛ подсчитывают по формулам А. П. Владзиевского.

$$\delta_{12} = \frac{1}{1 + \dfrac{\lambda_2\mu_1\left(e^{\omega z_m \bar{\tau}} - 1\right)}{\omega(\lambda_1 + \lambda_2)}},$$

где

$$\omega = \frac{\lambda_2\mu_1 - \lambda_1\mu_2}{\lambda_1 + \lambda_2};$$

$z_m\bar{\tau}$ — максимальная емкость накопителя, шт.; $\bar{\tau} = 1/Q_н$, мин/шт.

В табл. 15 приведены значения δ_{1-2} в зависимости от $z_m\tau$ и параметров участков.

При равенстве параметров потоков отказов и параметров потоков восстановления участков $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$, $\mu_1 = \mu_2 = \mu$. Коэффициент наложения потерь $\delta_{1-2} = \dfrac{1}{1 + \mu z_m\bar{\tau}/2}$, а с учетом возможности одновременного простоя двух участков $\delta_{1-2} = \dfrac{1}{1 + (\lambda + \mu)\, z_m\bar{\tau}/2}$.

На рис. 14 показана зависимость δ_{1-2} от $\lambda + \mu$ при различных $z_m\bar{\tau}$. Избыточная производительность одного из участков АЛ всегда увеличивает ее потенциальную производительность и позволяет принимать накопители меньших емкостей.

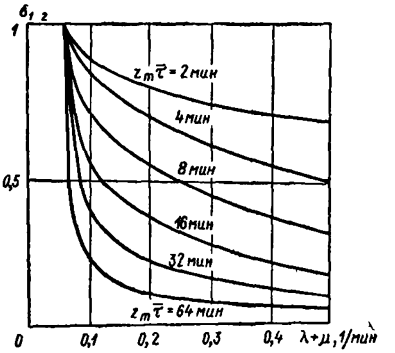


Рис. 14. Зависимость коэффициента наложения потерь δ_{1-2} первого участка на второй от емкости накопителя $z_m\bar{\tau}$ и параметров участков $(\lambda + \mu)$

Оценка коэффициента готовности однопоточной многоучастковой АЛ. Оптимальное число участков однопоточной АЛ оценивают по критерию себестоимости по формуле А. П. Владзиевского $m_0 = \sqrt{\chi(1-\delta)\dfrac{\psi - 1}{\psi - 2 + \chi\delta + 1/B_б}}$, где $\chi = \dfrac{B_0}{B_б}$ (здесь B_0 — удельная длительность восстановления линии сблокированного исполнения; $B_б$ — удельная длительность восстановления накопителя; $\psi = \dfrac{E_0}{E_б}$ (E_0 — себестоимость станкоминуты сблокированной АЛ; $E_б$ — себестоимость станкоминуты эксплуатации накопителя; δ — коэффициент наложения потерь).

Формула справедлива при одинаковых характеристиках надежности, циклах участков и емкостях накопителей. Коэффициент готовности многоучастковой АЛ оценивают методом приближения, который приведен ниже.

1 Оценивают коэффициент готовности первых двух участков с учетом наложения потерь: $\eta_{г\,12} = \dfrac{1}{1 + B_2 + \delta_{1-2}B_1}$;

2. Определяют параметры потока отказов и восстановлений первых двух участков, как одного целого: $\lambda_{12} = \lambda_2 + \delta_{1-2}\lambda_1$; $B_{12} = \frac{\lambda_{12}}{\mu_{12}}$; $B_{12} = \frac{1 - \eta_{г\,12}}{\eta_{г\,12}}$; $\mu_{12} = \lambda_{12}\frac{\eta_{г\,12}}{1 - \eta_{г\,12}}$.

3. Оценивают коэффициент готовности первых двух участков как одного с параметрами μ_{12}, λ_{12} и третьего участка: $\eta_{г\,123} = \frac{1}{1 + B_3 + \delta_{12-3}B_{12}}$.

4. Определяют параметры потока отказов и восстановлений трех участков, как одного: $\lambda_{123} = \lambda_3 + \delta_{12-3}\lambda_{12}$; $B_{123} = \frac{\lambda_{123}}{\mu_{123}}$; $B_{123} = \frac{1 - \eta_{г\,123}}{\eta_{г\,123}}$; $\mu_{123} = \lambda_{123}\frac{\eta_{г\,123}}{1 - \eta_{г\,123}}$ и т. д.

Последовательно объединяя участки, оценивают коэффициент готовности многоучастковой однопоточной АЛ.

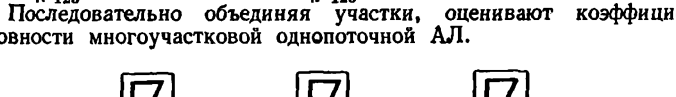


Рис. 15. К оценке коэффициента готовности для АЛ:
1, 2, 3, 4 — участки

Пример. Оценим коэффициент готовности (рис. 15) для АЛ, состоящей из четырех участков и трех накопителей:

$\lambda_1 = 0{,}0267$ 1/мин; $\mu_1 = 0{,}240$ 1/мин; $B_1 = 0{,}111$;
$\eta_{г1} = 0{,}900$;
$\lambda_2 = 0{,}0216$ 1/мин; $\mu_2 = 0{,}103$ 1/мин; $B_2 = 0{,}210$;
$\eta_{г2} = 0{,}826$;
$\lambda_3 = 0{,}0133$ 1/мин; $\mu_3 = 0{,}120$ 1/мин; $B_3 = 0{,}111$; $\eta_{г3} = 0{,}900$;
$\lambda_4 = 0{,}0166$ 1/мин; $\mu_4 = 0{,}220$ 1/мин; $B_4 = 0{,}075$; $\eta_{г4} = 0{,}930$.

Емкости накопителей $z_m\bar{\tau} = 20$ мин, $\eta_{г.\,н}$ — нижнее значение η без накопителей (при жесткосблокированном исполнении):

$$\eta_{г.\,н} = \frac{1}{1 + \sum B_i} = 0{,}663;$$

$\eta_{г.\,лим}$ — значение η по лимитирующему участку; $\eta_{г.\,лим} = 0{,}826$.

1-й шаг. $\lambda_2\mu_1 = 0{,}00518$; $\lambda_1\mu_2 = 0{,}00275$; $\lambda_1 + \lambda_2 = 0{,}0483$; $\omega = 0{,}164$; $\omega z_m\bar{\tau} = 3{,}28$; $e^{\omega z_m\bar{\tau}} = 25$; $\delta_{1-2} = 0{,}06$; $\eta_{г12} = 0{,}822$; $B_{12} = 0{,}216$; $\lambda_{12} = \lambda_2 + \delta_{1-2}\lambda_1 = 0{,}0232$; $\mu_{12} = \lambda_{12}\frac{\eta_{12}}{1 - \eta_{г12}} = 0{,}107$.

2-й шаг. $\lambda_3\mu_{12} = 0{,}00142$; $\lambda_{12}\mu_3 = 0{,}00278$; $\lambda_{12} + \lambda_3 = 0{,}0365$; $\omega = -0{,}0374$; $\omega z_m\tau = -0{,}7474$; $e^{\omega z_m\bar{\tau}} = 0{,}47$; $\delta_{123} = 0{,}671$; $\eta_{123} = 0{,}796$; $B_{123} = 0{,}256$; $\lambda_{123} = \lambda_3 + \delta_{1-3}\lambda_{12} = 0{,}0288$; $\mu_{123} = 0{,}113$.

3-й шаг. $\lambda_4\mu_{123} = 0{,}00187$; $\lambda_{123}\mu_4 = 0{,}00634$; $\lambda_{123} + \lambda_4 = 0{,}0454$; $\omega = -0{,}0984$; $\omega z_m\bar{\tau} = -1{,}968$; $e^{\omega z_m\bar{\tau}} = +0{,}14$; $\delta_{123-4} = 0{,}735$; $\eta_{1234} = 791$; $B_{1234} = 0{,}264$; $\lambda_{1234} = \lambda_4 + \delta_{123-4}\lambda_{123} = 0{,}0377$; $\mu_{1234} = 0{,}143$.

Таким образом, коэффициент готовности АЛ, разделенной на участки, лежит между верхней $\eta_{г.\,лим}$ и нижней $\eta_{г.\,н}$ границами АЛ жесткосблокированного исполнения и лимитирующего участка.

15. Коэффициент наложения потерь первого участка на второй

B_2	μ_2	δ_{1-2} при $z_m \bar{\tau}$					
		10	20	30	40	50	60
$\lambda_1 = 0{,}01;\ \mu_1 = 0{,}11;\ B_1 = 0{,}09;\ \lambda_2 = 0{,}01$							
0,100	0,100	0,639	0,463	0,359	0,291	0,242	0,206
0,050	0,200	0,693	0,579	0,524	0,495	0,477	0,467
0,033	0,300	0,737	0,670	0,647	0,638	0,635	0,634
0,024	0,400	0,774	0,736	0,727	0,725	0,725	0,725
0,020	0,500	0,805	0,783	0,780	0,780	0,780	0,780
$\lambda_1 = 0{,}01;\ \mu_1 = 0{,}11;\ B_1 = 0{,}09;\ \lambda_2 = 0{,}02$							
0,200	0,100	0,525	0,307	0,190	0,121	0,078	0,051
0,100	0,200	0,568	0,389	0,291	0,229	0,186	0,156
0,066	0,300	0,608	0,468	0,397	0,356	0,330	0,313
0,049	0,400	0,644	0,539	0,495	0,473	0,462	0,456
0,040	0,500	0,677	0,600	0,575	0,565	0,562	0,560
$\lambda_1 = 0{,}02;\ \mu_1 = 0{,}11;\ B_1 = 0{,}181;\ \lambda_2 = 0{,}01$							
0,100	0,100	0,759	0,644	0,579	0,539	0,512	0,495
0,050	0,200	0,809	0,755	0,736	0,729	0,726	0,725
0,033	0,300	0,846	0,822	0,817	0,816	0,816	0,816
0,024	0,400	0,874	0,863	0,862	0,862	0,862	0,862
0,020	0,500	0,895	0,890	0,890	0,890	0,890	0,890
$\lambda_1 = 0{,}02;\ \mu_1 = 0{,}11;\ B_1 = 0{,}181;\ \lambda_2 = 0{,}02$							
0,200	0,100	0,639	0,463	0,359	0,291	0,242	0,206
0,100	0,200	0,693	0,579	0,524	0,495	0,477	0,467
0,066	0,300	0,737	0,670	0,647	0,638	0,635	0,634
0,049	0,400	0,774	0,736	0,720	0,725	0,725	0,725
0,040	0,500	0,805	0,783	0,780	0,780	0,780	0,780
$\lambda_1 = 0{,}01;\ \mu_1 = 0{,}21;\ B_1 = 0{,}043;\ \lambda_2 = 0{,}01$							
0,100	0,100	0,416	0,207	0,110	0,061	0,034	0,019
0,050	0,200	0,481	0,311	0,277	0,177	0,143	0,119
0,033	0,300	0,541	0,419	0,366	0,339	0,323	0,314
0,024	0,400	0,596	0,515	0,489	0,480	0,477	0,475
0,020	0,500	0,643	0,593	0,583	0,580	0,580	0,580
$\lambda_1 = 0{,}01;\ \mu_1 = 0{,}21;\ B_1 = 0{,}043;\ \lambda_2 = 0{,}02$							
0,200	0,100	0,285	0,092	0,031	0,010	0,003	0,001
0,100	0,200	0,326	0,135	0,061	0,028	0,013	0,006
0,066	0,300	0,367	0,189	0,109	0,067	0,042	0,027
0,050	0,400	0,408	0,250	0,177	0,134	0,107	0,088
0,040	0,500	0,488	0,315	0,257	0,225	0,205	0,192
$\lambda_1 = 0{,}02;\ \mu_1 = 0{,}21;\ B_1 = 0{,}095;\ \lambda_2 = 0{,}01$							
0,100	0,100	0,584	0,408	0,311	0,250	0,207	0,177
0,050	0,200	0,658	0,557	0,515	0,495	0,485	0,480
0,033	0,300	0,718	0,667	0,654	0,651	0,650	0,650
0,024	0,400	0,765	0,741	0,738	0,737	0,737	0,737
0,020	0,500	0,802	0,790	0,790	0,790	0,790	0,790
$\lambda_1 = 0{,}02;\ \mu_1 = 0{,}21;\ B_1 = 0{,}095;\ \lambda_2 = 0{,}02$							
0,200	0,100	0,416	0,207	0,110	0,061	0,034	0,019
0,100	0,200	0,481	0,311	0,277	0,177	0,143	0,119
0,066	0,300	0,541	0,419	0,366	0,339	0,323	0,314
0,050	0,400	0,596	0,515	0,489	0,480	0,477	0,475
0,040	0,500	0,643	0,593	0,583	0,580	0,580	0,580

Оценка коэффициента готовности АЛ, состоящей из n одинаковых независимых потоков, обслуживаемых a наладчиками. Коэффициент готовности многопоточной системы зависит не только от надежности работы каждого потока, но и от количества наладчиков, обслуживающих эту систему. Если $n < a$, то могут возникнуть ситуации, когда отказавшие потоки ожидают наладчика, если все наладчики заняты восстановлением отказавшего оборудования.

При отказе нескольких потоков ($\iota < n$) система полностью не прекращает выпуск продукции, как в однопоточных АЛ, а снижает его пропорционально числу остановившихся потоков: $Q(\iota) = Q_{\text{н}} \dfrac{n-\iota}{n}$, где $Q(\iota)$ — производительность системы при отказе i потоков; $Q_{\text{н}}$ — номинальная производительность системы; n — количество потоков многопоточной АЛ; ι — количество отказавших потоков.

Коэффициент готовности многопоточной АЛ, состоящей из n независимых потоков и обслуживаемых a наладчиками, оценивают по формуле

$$\eta_{\text{г.л}} = P_0 + \frac{1}{n}\sum_{\iota=1}^{n}(n-\iota)P_\iota.$$

Здесь вероятности работоспособности АЛ при $1 \leqslant i \leqslant a$:

$P_0 = \dfrac{1}{1 + n!\left[\sum\limits_{\iota=1}^{a}\dfrac{B^\iota}{\iota!(n-\iota)!} + \dfrac{1}{a!}\sum\limits_{k=a+1}^{n}\dfrac{B^k}{a^{k-n}}\right]}$ — вероятность того, что все потоки выпускают продукцию; $P_1 = \dfrac{n}{1!}BP_0$ — вероятность того, что отказал один поток (восстанавливается один поток); $P_2 = \dfrac{n(n-1)}{2!}B^2P_0$ — вероятность того, что отказали два потока (восстанавливаются два потока); $P_3 = \dfrac{n(n-1)(n-2)}{3!}B^3P_0$ — вероятность того, что отказали три потока (восстанавливают три потока и т. д.), $P_a = \dfrac{n(n-1)\ldots(n-a+1)}{a!}B^aP_0$ — вероятность того, что отказали a потоков (восстанавливаются a потоков); вероятности работоспособности АЛ при $a < i \leqslant n$: $P_{a+1} = \dfrac{n(n-1)\ldots(n-a)}{a!\,a}B^{a+1}P_0$ — вероятность того, что отказал $a+1$ поток (восстанавливаются a потоков, один поток ожидает наладчика) и т. д. $P_n = \dfrac{n!}{a!\,a^{n-a}}B^nP_0$ — вероятность того, что отказали все n потоков (восстанавливаются a потоков, $n-a$ ожидают наладки); B — удельная длительность восстановления потока АЛ.

Коэффициент готовности многопоточной АЛ оценивают по формуле

$$\eta_{\text{г.л}} = P_0 + \frac{n-1}{n}P_1 + \frac{n-2}{n}P_2 + \cdots + \frac{1}{n}P_{n-1}.$$

16. Коэффициент готовности $\eta_{г\,л} \cdot 10^3$ многопоточной АЛ в зависимости от числа потоков n, количества наладчиков a и удельной длительности восстановления работоспособности B одного потока

n	B = 0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
										$a = 1$										
1	952	909	870	833	800	769	749	714	690	666	645	625	606	588	571	555	540	526	513	500
2	950	902	855	811	769	730	694	660	629	600	573	548	525	503	482	464	446	430	414	400
3	947	893	838	784	732	684	639	598	561	526	495	466	441	417	396	376	358	342	326	312
4	945	883	818	752	689	637	578	531	489	452	420	391	365	342	322	303	287	272	258	248
5	942	872	794	715	641	574	515	465	422	388	353	326	303	282	264	248	234	221	210	199
6	939	859	766	673	588	515	455	405	364	330	300	276	255	237	222	208	196	185	175	166
7	936	844	735	628	535	460	400	353	315	285	259	238	219	204	190	178	168	159	150	143
8	932	827	700	581	485	411	355	311	277	249	227	208	192	178	166	156	147	139	131	125
9	928	807	662	535	438	368	317	277	247	222	202	185	171	159	148	139	131	123	117	111
10	924	785	623	490	398	333	285	250	222	200	182	166	154	143	133	123	118	111	105	100
										$a = 2$										
2	952	909	870	833	800	769	741	714	690	666	645	625	606	588	571	555	540	526	513	500
3	952	909	867	831	797	765	734	706	679	654	631	609	588	568	550	532	515	500	485	471
4	952	908	866	827	790	755	722	690	660	632	605	680	556	534	513	493	475	457	441	425
5	952	907	864	822	781	742	704	668	633	601	570	642	515	490	467	446	426	407	390	374
6	952	906	860	814	768	724	680	639	599	563	529	498	469	422	418	396	376	357	341	325
7	952	904	855	804	752	701	651	604	561	520	484	451	422	395	372	350	331	314	298	283
8	951	902	849	792	733	674	618	566	519	477	440	407	378	353	330	310	293	277	262	249
9	951	899	841	777	710	643	581	525	477	435	398	367	340	316	295	277	261	247	234	222
10	950	896	832	760	683	610	543	486	437	396	362	332	307	285	266	250	235	222	210	200
										$a = 3$										
3	952	909	870	833	800	769	741	714	690	666	645	625	606	588	571	555	540	526	513	500
4	952	909	869	833	799	768	739	713	687	664	642	621	601	583	565	548	533	517	503	490
5	952	909	869	832	798	766	737	709	682	657	633	611	590	569	550	532	515	499	483	468
6	952	909	869	831	796	763	731	701	672	645	619	594	571	549	528	507	488	470	453	437
7	952	909	869	830	793	757	723	691	659	629	599	572	546	521	498	476	455	436	418	401
8	952	908	867	827	788	750	713	676	641	607	547	544	515	489	464	441	419	399	381	364
9	952	908	866	824	782	740	698	658	618	580	545	512	482	453	428	405	383	363	346	329
10	952	908	863	819	774	727	681	635	592	551	513	478	447	418	393	370	350	331	314	299

Продолжение табл. 16

n	B																		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
									$a = 4$											
4	952	909	870	833	800	769	741	714	690	666	645	625	606	588	571	555	540	526	513	500
5	952	909	869	833	800	769	740	714	689	666	644	624	605	586	569	553	538	523	509	496
6	952	909	869	833	800	769	740	713	687	664	641	620	600	581	563	546	530	515	500	486
7	952	909	869	833	799	768	738	710	684	659	636	613	592	572	553	534	516	500	484	468
8	952	909	869	833	798	766	736	707	679	652	627	603	580	557	536	516	497	479	461	445
9	952	909	869	832	797	764	732	701	671	642	614	588	562	538	515	493	472	453	434	417
10	952	909	869	831	795	760	726	693	660	629	598	569	541	514	490	466	445	424	405	388
									$a = 5$											
5	952	909	870	833	800	769	741	714	690	666	645	625	606	588	571	555	540	526	513	500
6	952	909	870	833	800	769	741	714	690	666	645	625	606	588	571	555	539	525	511	498
7	952	909	870	833	800	769	741	714	689	666	644	623	604	586	568	552	536	521	507	494
8	952	909	870	833	800	769	741	713	688	664	642	621	600	581	563	546	529	514	498	484
9	952	909	870	833	800	768	739	712	686	661	638	616	594	574	555	536	518	501	485	469
10	952	909	870	833	799	767	738	709	682	657	632	608	585	563	542	522	503	485	467	450
									$a = 6$											
6	952	909	870	833	800	769	741	714	690	666	645	625	606	588	571	555	540	526	513	500
7	952	909	870	833	800	769	741	714	690	666	645	625	606	588	571	555	540	526	512	499
8	952	909	870	833	800	769	741	714	690	666	644	624	605	587	570	554	538	524	510	497
9	952	909	870	833	800	769	741	714	689	665	644	623	604	585	568	551	535	520	505	492
10	952	909	870	833	800	769	740	713	688	665	642	621	601	582	563	545	529	513	498	483
									$a = 7$											
8	952	909	870	833	800	769	741	714	690	666	645	625	606	588	571	555	540	526	513	500
9	952	909	870	833	800	769	741	714	690	666	645	625	606	588	571	555	540	526	512	498
10	952	909	870	833	800	769	741	714	690	666	645	624	605	587	570	553	538	523	509	496

В табл. 16 приведены коэффициенты готовности многопоточных АЛ в зависимости от числа потоков n, числа наладчиков a и удельных длительностей восстановления одного потока B.

Например, 1) $n = 10$; $a = 1$; $B = 0{,}3$; $\eta_{г.л} = 0{,}333$; 2) $n = 10$; $a = 2$; $B = 0{,}3$; $\eta_{г.л} = 0{,}610$; 3) $n = 10$; $a = 3$; $B = 0{,}3$; $\eta_{г.л} = 0{,}727$; 4) $n = 10$; $a = 5$; $B = 0{,}3$; $\eta_{г.л} = 0{,}769$; 5) $n = 10$; $a = 10$; $B = 0{,}3$; $\eta_{г.л} = 0{,}769$.

Таким образом, в многопоточной системе, состоящей из десяти потоков при удельной длительности восстановления одного потока $B = 0{,}3$, назначение больше пяти наладчиков не приводит к повышению коэффициента готовности систем.

Коэффициент готовности можно выразить через среднее число занятых наладчиков $\bar{a}$: $\eta_{г.л} = \dfrac{\bar{a}}{Bn}$

Среднее число потоков, обслуживаемых бригадой в единицу времени (абсолютная пропускная способность), $\bar{a}(n) = \bar{a}\mu$.

Среднее число работающих потоков $\bar{n} = \eta_{г.л} n$; $\eta_{г.л} = \bar{a}/B$.

Потенциальная производительность многопоточной АЛ $Q_{п\,г.л} = Q_{нл}\eta_{г.л}$.

Оценка коэффициента готовности АЛ с гибкой связью. В АЛ с гибкой связью полуфабрикат, изготовленный на любом потоке предыдущего участка, может поступить на обработку в любой поток последующего. В этом случае даже при отсутствии накопителей между участками коэффициент наложения потерь двухучастковых АЛ с гибкой связью не будет равен единице, как в жесткосблокированных АЛ.

Оценка коэффициента готовности АЛ с гибкой связью может быть получена по экспериментальной формуле [4] $\eta_{г.л} = \dfrac{1}{1 + B_c P^y}$, где

$P = 1 + \dfrac{m - 1}{1 + \dfrac{(1 + B_c)\, z\mu\tau}{n}\cdot\dfrac{m}{4}}$; $y = \dfrac{1}{\sqrt{n}}$; n — количество потоков; m — количество участков; B_c — удельная трудоемкость восстановления работоспособности оборудования лимитирующего участка; $z\mu\tau$ — емкость накопителя лимитирующего участка, мин; μ — параметр потока восстановления лимитирующего участка, 1/мин.

Однако для точных оценок надо пользоваться методом моделирования на ЭВМ (см. гл. 3).

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ

Сопоставление АЛ производится в период их заказа и в процессе эксплуатации. Следует иметь в виду не только экономическую эффективность, но и социально-экономические факторы, определяющие целесообразность заказа АЛ: недостаток квалифицированных наладчиков, рабочих-станочников и др., повышение требований к качеству выпускаемой продукции, увеличение доли интеллектуального труда в производстве.

Для оценки технического уровня АЛ на различных стадиях рекомендуется использовать показатели, приведенные в табл. 17.

17. Показатели технического уровня АЛ

Показатель	Стадия		
	Техническое предложение	Рабочий проект	Эксплуатация
Номинальная (или проектная) производительность	+	+	—
Фактическая производительность	—	—	+
Точность выполнения типичных операций	+	+	+
Точность выполнения специфических для данной детали операций	+	+	+
Комплексность обработки	+	+	+
Рациональность построения цикла	+	+	+
Запас точности	—	—	+
Коэффициент технического использования:			
проектный	+	+	—
фактический	—	—	+
Удобство эксплуатации и ремонта	+	+	+
Инструмент и режимы резания	+	+	+
Уровень автоматизации контрольных операций	+	+	+
Возможность переналадки оборудования	+	+	+
Конструктивные особенности	+	+	+
Стоимость	+	+	+

Обозначения: плюс — разрабатывается; минус — не разрабатывается.

Точность обработки. Комплексным показателем, характеризующим состояние оборудования, инструмента и заготовки, точность базирования, является точность обработки. При анализе точности обработки на АЛ, целесообразно сопоставлять: точность выполнения часто встречающихся типичных операций, например точность взаимного расположения отверстий, межцентровое расстояние между базовыми отверстиями и другие параметры, характерные для АЛ; точность выполнения характерных для данной детали операций, например точность выполнения отверстий в блоках цилиндров под коленчатый и распределительные валы; допуск на межцентровое расстояние, несоосность, класс точности отверстия с отклонениями геометрической формы; точность выполнения отверстия в поршне под поршневой палец; класс точности отверстия; требования по некруглости; выпуклости и вогнутости и т. д.;

запас точности при выполнении основных операций.

Запас точности характеризуется коэффициентом использования поля допуска

$$K_д = \frac{\delta}{\Delta} 100\%,$$

где δ — поле допуска возможных отклонений, мкм; Δ — допуск на параметр обрабатываемой детали, мкм.

Принято считать точность удовлетворительной, если при сдаче линии в эксплуатацию используемая часть поля допуска не превышает

75% При этом длительность и частота вмешательства наладчика должны находиться в пределах, обеспечивающих рациональное обслуживание всего комплекса оборудования

Рациональность построения цикла. Этот показатель характеризует отношение вспомогательного времени $\tau_в$ к длительности цикла обработки $\tau_ц$. Это отношение определяется в виде коэффициента $K_ц$ по формулам

$$K_ц = \left(1 - \frac{\tau_р}{\tau_ц}\right) 100\%,$$

$$K_ц = \left[\left(1 + \frac{T_э}{z_к \tau_в}\right) - \frac{\tau_р}{\tau_ц}\right] 100\%,$$

где $\tau_р$ — время формообразования, мин; $\tau_ц$ — полное время цикла, мин; $T_э$ — время, затрачиваемое периодически на выполнение элемента цикла, мин; $z_к$ — число рабочих циклов, по прошествии которых выполняется указанный элемент цикла (например, после обработки z деталей производится правка круга).

Коэффициент $K_ц$ позволяет установить несовмещенное время, затрачиваемое на межоперационное транспортирование, загрузку, разгрузку и аналогичные операции.

При использовании в АЛ непрерывных процессов (бесцентрового шлифования на проход, непрерывного протягивания и т. д.) $K_ц = 0$. Во всех остальных случаях $K_ц \neq 0$, и важно проанализировать степень совмещения различных операций, например быстрый подвод и зажим обрабатываемой детали, разжим и отвод и др. Сопоставление коэффициентов $K_ц$ может быть проведено для АЛ с близкими значениями длительностей циклов или по статистическим данным

Комплексность обработки. Комплексность технологического процесса характеризуется коэффициентом комплексности технологического процесса $K_к$:

$$K_к = \frac{q_1}{q} 100\%,$$

где q_1 — число операций технологического процесса, выполняемых на линии (комплексе линий); q — число операций, необходимых для полной обработки детали (узла).

Надежность оборудования линии. см. с. 530.

Удобство эксплуатации и ремонта. Предлагается рассматривать только элементы конструкции линии, обеспечивающие устройство ее эксплуатации и ремонта. К таким элементам относятся: приборы и оснастка для контроля обрабатываемых деталей, наладки инструмента на линии и вне линии; грузоподъемные средства для смены тяжелых инструментов (больших абразивных кругов, тяжелых оправок и т. п.), съема механизмов и деталей при ремонте и замене изношенных частей и узлов; инструментальные шкафы и счетчики циклов работы инструмента; устройства, сигнализирующие об их поломке; централизованные системы подачи СОЖ и смазки, вентиляционные системы отсасывания пыли (при обработке без охлаждения пылящих материалов); пульты управления и табло, сигнализирующие о состоянии и положении агрегатов, моментов возникновения типовых неисправностей; приборы для периодической проверки длительности циклов и контроля параметров состояния оборудования.

Инструмент и режимы резания. Технический уровень режимов резания и качество режущего и вспомогательного инструмента, применяемого в АЛ, оценивают по следующим критериям: материалу инструмента и его конструкции (жесткость, стойкость и ее стабильность, взаимозаменяемость, быстросменность); режимам резания, принятым на типичных операциях (сверление, фрезерование, точение и т д); режимам резания на специфических операциях (глубокое сверление, расточка отверстия под поршневой палец в поршне и т. п)

Автоматизация контрольных операций. В линиях для входного, межоперационного и окончательного контроля обрабатываемого изделия применяют автоматические приборы пассивного или активного контроля, а для наладки станков, выборочного операционного контроля и для перепроверки деталей, забракованных контрольно-блокировочными автоматами, — универсальные средства (скобы, микрометры, калибры и т п.) и специальные измерительные приборы Оценка степени автоматизации контрольных операций в линиях производится по сравнению с фактическим достижением аналогов

Возможность переналадки оборудования линии. Переналадка отдельного оборудования обеспечивается для заранее заданных деталей. Для этого используют холостые и резервные позиции, сменные головки, установленные на поворотных столах, и т. д.

Конструктивные особенности Оценка конструктивных решений производится по надежности работы, быстродействию, занимаемой площади, удобству эксплуатации и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Автоматизация** процессов в машиностроении Учебное пособие для вузов М , «Высшая школа», 1973, 456 с Авт А П Белоусов, А И Дащенко, П М Полянский, А В Шулешкин

2 **Богуславский Б. Л.** Автоматы и комплексная автоматизация М , «Машиностроение», 1964 535 с

3 **Брон Л. С., Черпаков Б. И., Чеканов Л. И.** Автоматические линии для обработки деталей типа валов М , НИИМАШ, 1971 100 с

4 **Волчкевич Л. И.** Надежность автоматических линий М , «Машиностроение», 1969, 309 с

5 **Волчкевич Л. И., Кузнецов М. М., Усов Б. А.** Автоматы и автоматические линии Ч 1 Основы проектирования Под ред Г А Шаумяна. Учебное пособие для вузов М , «Высшая школа», 1976, 230 с

6 **Волчкевич Л. И., Кузнецов М. М , Усов Б. А.** Автоматы и автоматические линии Ч II Системы управления Под ред Г А Шаумяна Учебное пособие для вузов М , «Высшая школа», 1976 336 с

7 **Вороничев Н. М., Генин В. Б., Тартаковский Ж. Э.** Автоматические линии из агрегатных станков М , «Машиностроение», 1971, 552 с

8 **Годович Г. М., Черпаков Б. И.** Управление точностью и контроль качества обработки на автоматических линиях М , НИИМАШ 1975 88 с

9 **Дымшиц Е. С.** Основные характеристики больших систем, рассматриваемых как системы массового обслуживания Доклады II Всесоюзного совещания по статистическим методам в управлении (Ташкент, 1970) Большие системы обслуживания, массовое обслуживание, надежность М , «Наука», 1970, 44—49 с

10 **Клусов И. А.** Технологические системы роторных машин (Основы расчета и проектирования) М , «Машиностроение», 1976 230 с

11 **Конструкции** и наладки автоматических линий и специальных станков М , «Высшая школа», 1977 324 с Авт Л С Брон, С Н Власов, К Н Константинов, Н П Никольский и др

12 **Левин А. А.** Проектирование автоматических линий, пролетов цехов — В сб МДНТП им Дзержинского, № 4, 1959 21—24 с

13 **Меламед Г. И.** Производительность и эффективность автоматических линий Минск, «Белорусь», 1972 192 с

14 **Туллер А. Г., Конюх А. И.** Анализ эксплуатационной надежности автоматических линий — «Станки и инструмент», № 9, 1966, 24—26 с

15 **Шевяков И. Н., Моисеев А. А., Султан-Заде Н. М.** Определение коэффициента готовности системы из потоков и наладчиков В сб Некоторые вопросы автоматизации технологических процессов в машиностроении. Под ред Б Л Богуславского ВЗМИ М, 1969

16 **Черпаков Б. И.** Эксплуатация автоматических линий М, «Машиностроение», 1978, 248 с.

Глава 17

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Автоматизированные системы (АС) предназначены для механической обработки деталей широкой и переменной номенклатуры в условиях мелкосерийного производства. Они представляют собой типизированные комплексы программируемого технологического и вспомогательного оборудования, управление которыми и организация их оптимального использования осуществляется на основе применения электронно-вычислительной техники.

АС состоят из производственного (ПК) и управляюще-вычислительного (УВК) комплексов.

Основные элементы ПК следующие: металлорежущие станки с устройствами числового программного управления ЧПУ, имеющими ввод управляющей информации от ЭВМ; универсальные приспособления для базирования и закрепления обрабатываемых деталей со стандартизированными крепежными элементами; режущий инструмент в виде стандартизованного комплекта с оснасткой, несущей кодовые устройства; сопроводительная оснастка (тара, спутники, поддоны и др.) для комплектования и транспортирования оборотных элементов (средств) производства (обрабатываемые детали, инструмент, приспособления, сопроводительная документация, стружка и др.); транспортно-накопительные устройства с системой адресования грузов по рабочим местам; загрузочно-разгрузочные механизмы; контрольно-измерительная техника и мерительный инструмент.

Комплекс УВК имеет иерархическую структуру; его основные элементы следующие: на верхнем уровне — ЭВМ для технологической подготовки, планирования, учета, анализа и корректировки хода производственного процесса; на среднем уровне — ЭВМ для ввода управляющей информации в устройства ЧПУ; на нижнем уровне — устройства ЧПУ.

Отличительная особенность такой системы — независимость функционирования каждого уровня, чем предотвращается остановка хода производства при выходе из строя отдельных уровней управления.

Автоматизация сложных процессов с переменными параметрами осуществляется в АС с помощью систем программно-математического обеспечения СПМО, которые вводятся вместе с исходной информацией, поступающей из производства, в ЭВМ в виде программ, записанных на магнитных лентах или перфолентах. СПМО разрабатываются путем математической формализации закономерностей оптимального протекания технологических и производственных процессов при определенных ограничительных условиях.

В СПМО использованы методы управления и организации производства, и поэтому они должны развиваться и совершенствоваться

в процессе их использования, что значительно влияет на повышение технико-экономической эффективности АС.

Каждая СПМО имеет определенное функциональное назначение и разрабатывается для определенных ЭВМ.

Существуют следующие системы: технологической подготовки производства (СТП), в задачу которой входит формирование и выдача управляющей информации для работы станков с ЧПУ; оперативно-производственного планирования (СОПП), обеспечивающего учет, планирование, анализ и корректировку хода производства; прямого управления станками (ПУС) для оперативного накопления и ввода в устройстве ЧПУ управляющей информации, а также диагностики работы оборудования и системы управления с целью поддержания надежности их работы.

Наиболее важные условия нормального функционирования и достижения высоких технико-экономических показателей АС приведены далее.

1. Конструктивное единство каждой группы станков с ЧПУ аналогичного технологического назначения и удобная встройка их в общую производственную систему с централизованным обслуживанием. Соблюдение этого условия обеспечивает возможность более полной загрузки станков, сокращает время восстановления их при выходе из строя, упрощает разработку и применение СТП, расширяет возможности многостаночного обслуживания, облегчает обучение кадров и др.

2. Построение технологических процессов на основе стандартизации их элементов, таких, как технологическая оснастка, режущий инструмент, режимы резания и др., обеспечивающих обработку разнообразных по форме, размерам, материалам и точности деталей. Таким путем обеспечивается более высокая стабильность процесса обработки деталей широкой номенклатуры, достигается значительно более высокая степень автоматизации СТП, так как все эти элементы технологических процессов заранее введены в ЭВМ, и не требуется их выбора технологом. Существенно упрощается также обеспечение производства оснасткой, инструментом и т. п.

3. Подготовка, накопление и перемещение по различным программируемым адресам (рабочим местам) обрабатываемых деталей, оснастки и режущего инструмента, а также удаление стружки различных металлов с помощью централизованной транспортно-накопительной системы (ТНС). Назначение таких ТНС — механизация вспомогательных операций, позволяющая сократить непроизводительные затраты времени, создание наиболее благоприятных условий для организации производства и обеспечение возможности обслуживания без персонала, занимающегося распределением работ по рабочим местам.

4. Применение прямого управления станками от ЭВМ. Это повышает надежность работы оборудования благодаря исключению считывания перфоленты по кадрам в устройстве ЧПУ, устранению повреждений перфоленты на рабочих местах, возможности контроля всей управляющей программы (УП) при вводе в ЭВМ и др., а также сокращает время поиска и доставки УП на рабочие места и обратно в библиотеку программ.

5. Высокая степень автоматизации и комплексность технологической подготовки производства АС на ЭВМ. Эти показатели обеспечивают формирование и подготовку УП, наладочной информации, расчет операционных припусков, распределение корректоров устройства ЧПУ

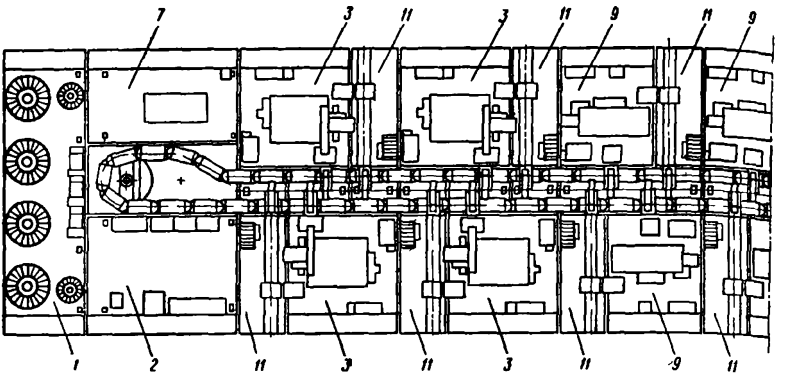


Рис. 1. Пример секцион

1 — секция хранения инструмента; *2* — секция настройки инструмента; *3* — машины; *5* — приемо-сдаточная секция; *6* — центральная ТНС обрабатываемых *7* — секция хранения оснастки; *8* — секция сбора стружки и смазочно-охлаж станка; *11* — секция приема и передачи обрабатываемых деталей,

для режущего инструмента, расчет времени обработки детали и т. д. по всему технологическому маршруту механической обработки детали в АС по данным информации, содержащейся в рабочем чертеже обрабатываемой детали и в заводской технологической маршрутной карте.

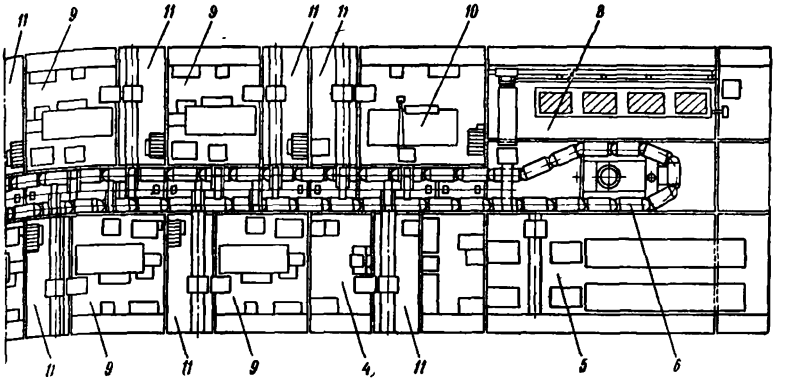
СТП должна иметь развитую часть контроля возможных ошибок, вносимых программистом при считывании рабочего чертежа и технологом при выборе деталей для обработки в АС.

6. Использование автоматизированной системы оперативно-производственного планирования на короткие периоды времени (например, на половину смены) с применением ЭВМ. Оно обеспечивает оптимальное использование технологического и вспомогательного оборудования с учетом достижения минимального времени переналадки станков, равномерной загрузки оборудования и выполнения оперативных задач, возникающих в производстве. Наряду с развитой частью контроля возможных ошибок, вносимых обслуживающим персоналом в СОПП, система должна учитывать возможные отрицательные влияния производства, с которым АС находится во взаимодействии, на ритмичность работы АС (задержка подачи заготовок, термической обработки, недопустимые отклонения размеров заготовок, твердости, несвоевременное материально-техническое снабжение и др.).

СОПП должна выбирать наиболее оптимальное решение и выдавать в производство конкретные указания обслуживающему персоналу.

Металлорежущее оборудование с ЧПУ, устройства ЧПУ, электронно-вычислительная техника, режущий инструмент, транспортно-загрузочные устройства и др. создаются на базе широкого применения принципов унификации и стандартизации, что существенно упрощает их эксплуатацию.

Для соблюдения упомянутых условий нормального функционирования и достижения высоких технико-экономических показателей



ного построения АСВ:

секция фрезерно-сверлильного станка; *4* — секция контрольно-измерительной деталей, инструмента, оснастки и стружки (напольный тележечный транспортер); дающей жидкости; *9* — токарная секция; *10* — секция фрезерно-центровального оснастки и инструмента из ТНС в станочные секции и обратно

необходима также специализация АС и создание типовых решений: 1) АСК — для корпусных деталей, таких, как корпуса коробок скоростей, редукторов, двигателей различного назначения, насосов и др., а также для станин, тумб, пространственных кронштейнов и т. д.; 2) АСВ — для деталей типа тел вращения (валы, оси, фланцы, диски, гильзы и др.); 3) АСП — для плоских деталей (крышки, панели, плоские рычаги, планки и др.).

Наряду с предметно-технологической специализацией типовые АС должны специализироваться с учетом диапазонов размеров обрабатываемых изделий так, чтобы обеспечить условие конструктивного единства оборудования, предназначенного для определенных технологических операций (токарные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные, расточные и т. п.). В настоящее время принята специализация АСВ по диаметру и длине (мм) обрабатываемых деталей соответственно: АСВ-1 — для 16—160 и до 500, АСВ-2 — для 25—250 и до 750, АСВ-3 — для 100—500 и до 1000.

При создании типовых АСК приняты значения размеров корпусных деталей, при которых размер (мм) самой длинной стороны детали следующий: для АСК-1 — от 250 до 500, для АСК-2 — от 400 до 800, для АСК-3 — от 630 до 1600.

Предметно-технологическая и размерная специализация АС позволяет ограничить разновидности оборудования, оснастки, режущего инструмента, элементов транспортных средств, технологических процессов, объемы СПМО и др., так что становится возможным достижение сравнительно высокого общего уровня автоматизации производственного процесса по обработке деталей самой широкой номенклатуры (например, деталей типа тел вращения или плоских до 5000 наименований в год) при запуске мелкими партиями в пределах специализации типовых АС.

Важнейшее значение АС для машиностроения и металлообработки заключается в возможной организации с их использованием, например, следующих автоматизированных объектов: участков (АУ) для выполнения определенных видов операций механической обработки; производств (АП) для осуществления возможно более полного процесса механической обработки деталей; цехов для изготовления деталей разнообразных видов (тела вращения, корпусы и плоские детали); заводов для производства определенных видов мелкосерийной продукции (машины, агрегаты, унифицированные узлы, механизмы и т. д.).

При построении АС применяют агрегатно-секционный (модульный) принцип: системы компонуют из отдельных унифицированных секций, обеспечивающих самостоятельное выполнение заданных производственных функций.

Каждую секцию монтируют комплектно с входящим в нее оборудованием. Секции примыкают к ТНС.

В состав АС, кроме станочных секций, предназначенных для механической обработки деталей, входят вспомогательные секции: приемосдаточные для приема заготовок, их промежуточного хранения, подачи в ТНС и приема с нее обработанных деталей, их выдачи с участка; для хранения инструмента и крепежной оснастки, комплектации, сборки и настройки инструмента, их подачи в ТНС и приема с последней использованного инструмента и оснастки; технического контроля обрабатываемых деталей; сбора стружки и смазочно-охлаждающей жидкости и т. п.

Пример секционного построения участка показан на рис. 1.

Секционное построение АС позволяет комплектовать их станками различного назначения и количества и в пределах установленной номенклатуры технологического и вспомогательного оборудования в зависимости от конкретных производственных условий. При этом сокращаются сроки проектирования и освоения АС, обеспечивается производственная гибкость благодаря возможности замены отдельных секций.

КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ

Для накопления опыта в области создания и эксплуатации АС в Минстанкопроме были организованы автоматизированные участок АУ-1 и производство АП-1.

На участке АУ-1 обрабатываются преимущественно детали типа тел вращения и плоские широкой номенклатуры в условиях мелкосерийного и индивидуального производства. Детали типа тел вращения имеют наибольший диаметр при обработке в патроне, равный 250 мм; наибольшая длина деталей при обработке в центрах — 750 мм

АУ-1 состоит из 13 станков с ЧПУ:

фрезерно-центровального станка с инструментальным магазином мод. МР179Ф4, оснащенного поворотным столом с тисками для обрабатываемой детали;

токарных патронно-центровых полуавтоматов мод. 1713МФ3 (четыре станка) и мод. 1А713МФ3 (четыре станка) с инструментальными магазинами;

трех вертикально-сверлильных станков с револьверной головкой на 6 позиций и двухкоординатным крестовым столом мод. 2Р135Ф2;

вертикально-фрезерного станка мод. МА655Ф3.

Станки установлены в один ряд, параллельно которому расположены стеллажи ТНС деталей, а с другой стороны ТНС режущего инструмента (рис. 2).

ТНС обрабатываемых деталей участка АУ-1 состоит из автоматизированного склада, представляющего собой составленные в одну линию 12 секций однорядных трехъярусных стеллажей, обслуживае-

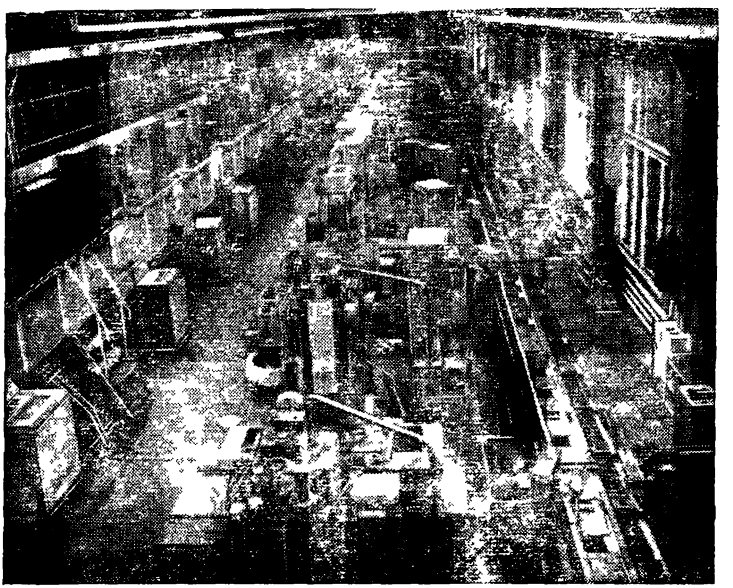


Рис. 2. Автоматизированный участок АУ-1

мых штабелером, и 14 транспортных устройств, 13 из которых служат для передачи тар с заготовками к станкам участка, а обработанных деталей — обратно в склад, и одно устройство — для обслуживания отделения технического контроля, а также для загрузки и разгрузки склада. Емкость склада: 258 тар размером в плане 600×400 мм.

Каждое транспортное устройство представляет собой плоскую плиту, по которой одновременно перемещаются две тележки, находящиеся в исходных позициях в складе и у станка. Перемещение тележек — автоматическое (по команде оператора) и осуществляется от электродвигателя и цепной передачи, смонтированной в плите.

Штабелер представляет собой каретку, перемещающуюся по двум координатам вдоль стеллажей, с грузовой платформой, выдвигающейся в ячейки склада. Управление работой штабелера — автономное и осуществляется с рабочих мест или с центрального пульта.

ТНС режущего инструмента состоит из замкнутого в вертикальной плоскости транспортера, обеспечивающего оперативное хранение общего

для всего участка комплекта инструмента, подачи его к станкам и связь станков с отделением размерной настройки инструмента; барабанов — промежуточных накопителей на рабочих местах, в которых осуществляется предварительный набор комплекта инструмента для обработки следующей партии деталей; перегружателей для перемещения инструмента с транспортера в барабаны и наоборот.

Режущий инструмент транспортируется на участке в кодированных блоках или спутниках. У станков в позициях перегрузки на транспортере установлены считывающие устройства. Вызов инструмента осуществляется операторами с рабочих мест набором его кодовых номеров.

К стеллажам ТНС деталей примыкает антресоль, служащая для размещения станочных электрошкафов, силовых и управляющих электроприводов. Под антресолью проходит ТНС стружки. Последняя обеспечивает раздельный и независимый от других станков сбор стружки на рабочих местах и транспортирование ее в место централизованного сбора. В систему входят: выдвигаемые из станка или находящиеся около него емкости для сбора образующейся в процессе резания стружки, тележки для транспортирования станочных емкостей к центральной стружкоуборочной трассе; центральная трасса, расположенная под антресолью вдоль склада, с подвижной кареткой-захватом станочных емкостей и кантователем; баки для раздельного сбора стальной, чугунной и цветных металлов стружки, установленные в начале участка и опорожняемые с помощью цехового крана. С одной стороны участка расположено отделение технического контроля, с другой — отделение размерной настройки режущего инструмента. Групповое управление станками участка осуществляется управляюще-вычислительным комплексом, размещенным в диспетчерском отделении.

За время промышленной эксплуатации участок подвергался усовершенствованию и на нем обработано более 250 000 деталей, подготовлено и использовано 4056 УП (по высокоавтоматизированным новым системам — 2592 УП с временем подготовки одной программы 16 мин, по частично автоматизированным системам — 1166 УП, вручную — 298 УП).

По предварительным данным эксплуатации участка по сравнению с обычным производством время ожидания заготовок снизилось с 1,6 до 0,5% фонда рабочего времени, время обеспечения инструментом — с 8,3 до 2,1%. По сравнению с использованием станков с ЧПУ в обычном производстве коэффициент сменности увеличился с 1,2 до 1,8—2, простои оборудования с ЧПУ в ремонте на 100 ч работы станка стали в 2 раза меньше. Трудоемкость обработки деталей снизилась в 2,5—3 раза.

Серийность производства на участке можно охарактеризовать следующими данными.

Из общего количества обрабатываемых партий 80% составили партии до 100 деталей; в среднем партия составляет 22 детали, максимально — 200 деталей.

Накопленный опыт свидетельствует о перспективности АС и позволил выявить большие дополнительные резервы по повышению технико-экономических показателей, которые реализуются в последующих создаваемых участках.

Участок АП-1 (рис. 3) предназначен для механической обработки корпусных деталей с наименьшими размерами 200×200×120 мм и

наибольшими 500×500×500 мм, например корпусов автоматических коробок скоростей. В его состав входят 6 станков с ЧПУ и автоматической сменой инструмента, разметочная машина, контрольно-измерительная машина, автоматизированный склад деталей со штабелером, центральная ЭВМ, отделение подготовки приспособлений и инструмента.

На участке автоматизировано большинство производственных процессов: подача спутника с заготовкой на стол станка, базирование и

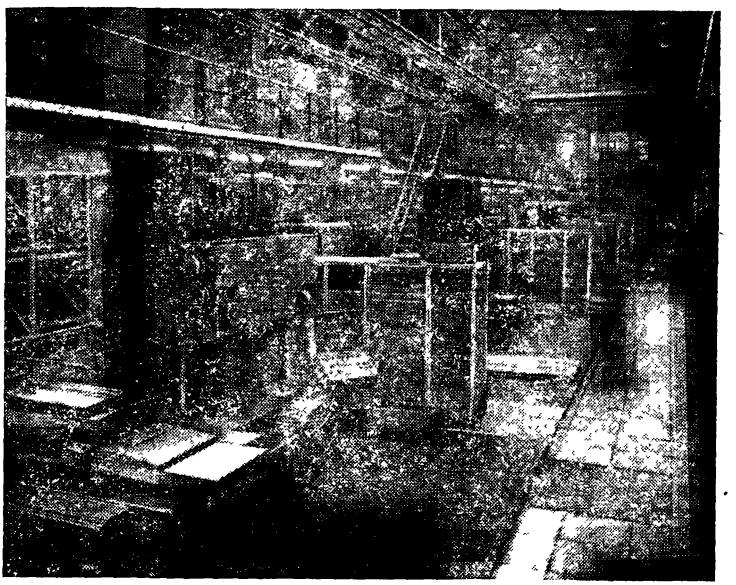


Рис. 3. Автоматизированное производство АП-1

закрепление спутника на столе станка, включение станка и выполнение операций механической обработки заготовки различными инструментами с нескольких сторон, открепление спутника и транспортирование его на склад вместе с обработанной деталью. Автоматизированы транспортные операции по перемещению заготовок и приспособлений внутри склада, выполняемые штабелером.

На специальной контрольно-измерительной машине с ЧПУ производится выходной контроль обработанных деталей. Разметочная и контрольно-измерительная машины, как и станки, обслуживаются автоматически складом. Установку и закрепление деталей на них осуществляет оператор.

Другая АС для обработки корпусных деталей с ТНС, состоящей из транспортеров (без склада), показана на рис. 4. Она состоит из четырех обрабатывающих центров *1* с наибольшими размерами обрабатываемых деталей 1050×750×550 мм.

Станки работают в системе группового ЧПУ от электронно-вычислительной машины *2*, осуществляющей также управление всеми транспортными и вспомогательными системами и диспетчирование производством.

Транспортная система участка включает в себя три параллельных друг другу роликовых транспортера: основной *3* — для подачи деталей к станкам, вспомогательный *4* — для возврата спутников, загрузочно-разгрузочный *5*, служащий для установки заготовок на спутники и сня-

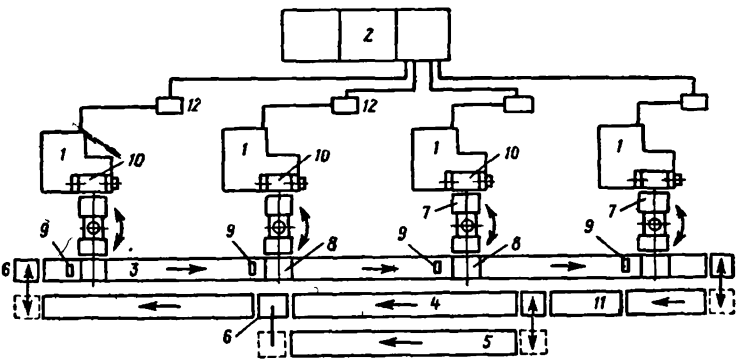


Рис. 4. Система АС для корпусных деталей с ТНС в виде транспортеров

тия обработанных деталей. Транспортная связь между транспортерами осуществляется с помощью возвратно-поступательно перемещающихся между ними перегружателей *6*, приводимых в действие гидроцилиндрами.

Передача спутников с заготовками с подающего транспортера в приспособление станка производится двухпозиционными поворотными столами *7*, установленными между станками и транспортером, путем их поворота на 180° и возвратно-поступательного движения заталкивающих гидроцилиндров.

На транспортере *3* в позициях перегрузки спутников на станки предусмотрены подъемники *8*, поднимающие спутник с заготовкой, подлежащей обработке на данном станке, над транспортером до одного уровня с зажимными приспособлениями станка. Для остановки спутника с деталью в позиции перегрузки соответствующего станка на транспортере *3* установлены датчики *9*, считывающие кодовые номера проходящих мимо спутников и дающие команду на остановку транспортера. Считывание кода технологического процесса осуществляется датчиками, установленными в приспособлении станка *10*, различающими до 80 видов обрабатываемых деталей.

Для удаления стружки с обработанной детали и спутника на участке предусмотрена очистительная станция *11*, переворачивающая секцию транспортера вместе с закрепляемым на ней спутником с деталью на 180° вокруг горизонтальной оси. Позициями *12* обозначены устройства станочного управления.

Особенность участка — наличие вмонтированных в станочные приспособления пневматических датчиков, контролирующи требуемую точность базирования спутника с заготовкой. После закрепления спутника в приспособлении датчики измеряют по трем осям координат зазоры между базовыми поверхностями приспособления и спутника и при удовлетворительной точности базирования подают сигнал на пуск станка

В такой АС предусмотрена автоматическая система контроля стойкости режущего инструмента, фиксирующая время эксплуатации каждого инструмента и сравнивающая его с введенной в ЭВМ расчетной стойкостью. Фактическое время работы инструмента фиксируется с помощью систем адаптивного управления, установленных на станках. Для инструмента, не являющегося объектом адаптивного управления, это время измеряется от начала вращения шпинделя с данным инструментом до его останова. Если расчетный срок службы инструмента истекает в процессе обработки, то станок останавливается только после окончания обработки данной детали. Остаточный фонд времени инструмента и сигнал об истечении этого времени показываются на специальной панели, рассчитанной на 240 инструментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Грачев Л. Н., Гиндин Д. Е.** Автоматизированный участок с групповым программным управлением для механической обработки деталей типа тел вращения — «Станки и инструмент», 1972, № 4, с 7, 8

2 **Грачев Л. Н., Гиндин Д. Е.** Комплексная автоматизация мелкосерийного производства в машиностроении М , НИИМАШ, С-1, 1976, с 3—60.

3 **Портман В. Т., Пустова В. Л., Лапидус А. С.** Методика анализа надежности и использования станков с ЧПУ Реферативный сборник М , НИИМАШ, 1975, № 1, с 5—11

4 **Карданский Л. Л., Найдин Ю. В., Чудаков А. Д.** Централизованное управление машиностроительным оборудованием от ЭВМ. М., «Машиностроение», 1977 70 с

5 **Черников С. С., Воскобойников Б. С., Брон А. М.** Автоматизированные комплексы станков с ЧПУ, управляемые от ЭВМ для обработки корпусных деталей М , ВИНИТИ сер. «Резание металлов Станки и инструмент». Т. 4, 1976, с. 141—170,

АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРКИ И СОРТИРОВКИ

Глава 18

ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ

ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ

Технологический процесс автоматической сборки разрабатывают из условия применения наиболее простых по конструкции средств автоматизации с наименьшим числом перемен положения деталей (прежде всего базовой) в пространстве. На построение технологического процесса и конструкцию оборудования для автоматической сборки оказывают влияние следующие факторы: метод сборки, вид собираемых элементов (конфигурация, габарит, масса, материал), количество типоразмеров деталей и узлов, наличие деталей, изготовляемых в процессе сборки и т. д. Иногда целесообразно объединять операции сборки с изготовлением деталей.

Подавляющее число отказов сборочного оборудования происходит из-за плохого качества деталей, поступающих на сборку. Поэтому следует применять детали, качество которых полностью соответствует техническим условиям Если же изготовление деталей требуемой точности экономически не оправдано, то в автоматическом оборудовании должны быть предусмотрены контрольные механизмы для выявления и исключения бракованных деталей

Целесообразен следующий порядок разработки технологического процесса автоматической сборки: изучение сведений о качестве изделий, действующей технологии изготовления деталей и их контроля; выявление операций, оказывающих наибольшее влияние на качество собираемых изделий; изучение видов соединений и режимов их сборки, сборочных баз, условий ориентации и подачи элементов на позицию сборки; экономическая оценка; принятие предварительного решения о возможности автоматической сборки изделия; выявление оптимальной степени расчленения изделия и определение возможных мер по повышению технологичности его конструкции для условий автоматической сборки; выбор метода автоматической сборки соединений; разработка технологических вариантов схем сборки, содержащих сведения о целесообразности и возможности концентрации и дифференцирования операций, а также вариантов схем базирования деталей и их закрепления; выбор загрузочных и ориентирующих устройств, механизмов контроля, сборочных головок, транспортных устройств и т. д. На основе технико-экономического анализа возможных вариантов осуществляется выбор наиболее рационального варианта технологического процесса сборки

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ

Существует много критериев оценки технологичности конструкций деталей и изделий применительно к условиям автоматической сборки Некоторые общие требования: собираемое изделие должно состоять по возможности из минимального количества деталей; сложные изделия, включающие большое количество деталей, целесообразно формировать из отдельных унифицированных или нормализованных функциональных блоков, которые могут быть собраны независимо друг от друга; наиболее технологичными являются блоки и изделия, состоящие из 4—12 деталей и обеспечивающие удобство и простоту подвода сборочных приспособлений, захвата, перемещения, монтажа и регулировки; максимально применять унифицированные и нормализованные элементы в конструкциях сборочных единиц; конструкция изделия должна предусматривать возможность последовательной сборки всех деталей простейшими рабочими движениями при неизменном положении базовой детали.

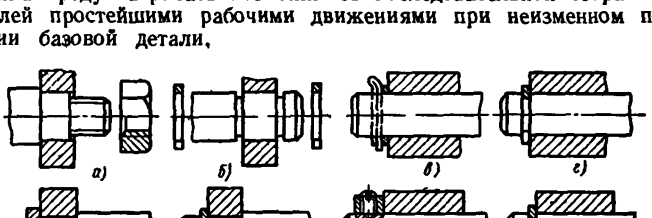


Рис. 1. Примеры изменения конструкции некоторых соединений для повышения их технологичности для автоматической сборки. Замена стопорными кольцами:

а, б — гайки; *в, г* — шплинта и шайбы, *д, е* — шайбы и винта, *ж, з* — кольца и винта



Рис. 2. Технологичные конструкции крепежных элементов:

а — концы резьбовых шпилек; *б* — установочный винт со шлицами на обоих концах; *в* — винт с направляющим концом, *г* — винт, сверлящий отверстие и нарезающий резьбу, *д* — винт с шайбой, удерживаемой на стержне (резьба образована на винте после надевания на него шайбы); *е* — гайка со стопорной нейлоновой вставкой

Следует стремиться, чтобы поверхности сопряжения одновременно являлись и установочными базами, что позволяет обеспечить наименьшую погрешность относительной ориентации деталей и сборочных единиц; допуски на размеры собираемых деталей должны обеспечивать их сборку методом полной взаимозаменяемости; конструктивные формы деталей и сборочных единиц должны удовлетворять требованиям автоматического контроля; в конструкции изделия следует избегать таких соединений, которые трудно осуществить автоматически, например заклепочных, шпоночных, шплинтуемых, штифтуемых, замыкаемых разжимными и пружинными кольцами, использующих пружины кручения и растяжения, закрепляемых проволокой.

Для обеспечения относительной неподвижности деталей целесообразно использовать методы пластической деформации, точечную и холодную сварку, склеивание, пайку.

Примеры некоторых технологичных конструкций соединений применительно к условиям автоматической сборки показаны на рис. 1, *б, г, е, з,* и нетехнологичных — на рис. 1, *а, в, д, ж.* Технологичные конструкции крепежных элементов представлены на рис. 2.

Требования к технологичности конструкций изделий необходимо учитывать еще на стадии их проектирования. Именно такой принцип подхода к автоматизации сборки позволит достичь наибольшей эффективности и лучшего качества продукции машиностроения и приборостроения.

МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ

Полная взаимозаменяемость находит наибольшее применение при автоматической сборке. Она позволяет применять наиболее простую конструкцию сборочного оборудования, добиваться высокой производительности и надежности его работы. Однако использование этого метода требует повышения точности изготовления собираемых деталей, а следовательно, и увеличения стоимости их изготовления.

Неполная взаимозаменяемость находит ограниченное применение при автоматической сборке ввиду возможности появления брака и заклинивания деталей в процессе их сборки. При использовании этого метода в сборочном оборудовании должны быть предусмотрены необходимые контрольные и блокировочные устройства, которые выявляют бракованные детали и исключают их из дальнейшего процесса

Селективную сборку применяют в тех случаях, когда необходимо обеспечить весьма высокую точность сопряжения деталей, при которой изготовление деталей заданной точности затруднительно или технически невозможно. Применение метода позволяет в ряде случаев получить большой экономический эффект.

При селективной сборке сопрягаемые детали сортируют в пределах допуска на несколько размерных групп, благодаря чему при сборке деталей одноименных групп обеспечивается высокая точность сопряжения. Сортировка деталей на группы выполняется контрольно-измерительными и сортировочными устройствами, специальными или встроенными в сборочное оборудование. При этом в процессе сборки сначала автоматически контролируется размер базовой детали, после чего измерительный импульс передается в систему магазинов, где присоединяемые детали рассредоточены по размерным группам. В соответствии

с полученным измерительным импульсом на позицию сборки поступает присоединяемая деталь соответствующей размерной группы. Затем происходит сборка деталей.

Схема автомата, на котором производится контроль проходного сечения сопла форсунок и сортировка их по этому параметру, показана на рис. 3. Из лотка *2* детали подаются шибером *1* на измерительную позицию под сопло камеры *3* и прижимаются к нему рычагом *4*. Изменение расхода воздуха из камеры в зависимости от проходного сечения детали регистрируется датчиком *5*, связанным с переключателем *6*, который замыкает электроцепь магнита *7*. При этом якорь магнита перемещает лоток *8* к соответствующему отсеку сортировщика *9*, в который и попадает измеренная деталь. В крайний левый отсек сбрасываются бракованные детали. После сортировки детали по группам сосредоточивают в магазинах-накопителях, откуда они вызываются на позицию сборки соответствующими измерительными импульсами. Недостаток селективной сборки — накопление деталей, не попадающих в заданные группы, что увеличивает объем незавершенного производства.

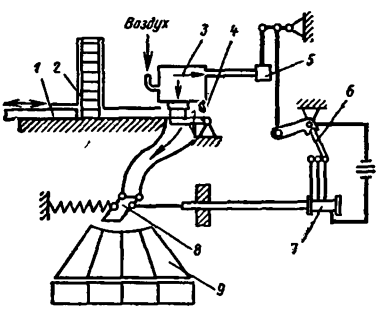


Рис. 3. Схема контрольно-сортировочного автомата

Автоматическое оборудование для селективной сборки нашло широкое применение в производстве подшипников качения.

Сборка с применением компенсаторов обусловливает необходимость применения в сборочном оборудовании специальных устройств для определения величины компенсации с последующим вызовом по сигналу контрольного устройства необходимого набора прокладок, шайб и т. д. или за счет использования подвижных механизмов-компенсаторов, автоматически регулирующих соответствующие параметры.

Выбор метода автоматической сборки зависит от конструкции изделия, точности сборочных параметров, условий эксплуатации изделия и технико-экономических показателей. Наибольшее предпочтение следует отдавать методу полной взаимозаменяемости. Целесообразность применения методов сборки определяется экономическими расчетами.

ТИПОВЫЕ И ГРУППОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ

Типовые технологические процессы сборки целесообразно применять в серийном, крупносерийном и массовом производстве с устойчивой номенклатурой изделий, а групповые — в индивидуальном, мелкосерийном и серийном производстве при частой сменяемости объектов производства.

Основой для разработки типовых и групповых технологических процессов сборки является кассификация деталей и сборочных единиц машин, имеющих различные конструктивные формы и размеры.

Сборочные единицы классифицируют по конструктивным и технологическим признакам: в зависимости от вида соединения (резьбовое, заклепочное, сварное и т. д.), сложности собираемых узлов и их габаритных размеров и от других параметров. На базе классификации сборочные единицы систематизируют по общности конструктивно-технологических признаков и объединяют в группы.

На основании рассмотренных классификационных признаков составляют схемы классификации для разработки типовых (одна схема) и групповых (другая схема) технологических процессов.

Ступени первой классификации — класс, вид, подвид, тип; второй — класс, вид, подвид, группа. Первые две ступени (класс и вид) общие для обеих классификаций, а последние две ступени различаются конструктивно-технологическими признаками. Класс представляет собой совокупность сборочных единиц, характеризующихся общностью видов соединений. Вид — совокупность сборочных единиц, характеризующихся степенью механизации сборочного процесса.

На основании схем классификации разрабатывают классификаторы, предусматривающие систематизацию и группирование существующих конструкций сборочных единиц по ступеням классификации, учитывающим характерные конструктивные и технологические классификационные признаки. Используя разработанные классификаторы, сборочные единицы дополнительно классифицируют в зависимости от их выпуска на группы или типы и зашифровывают. После этого для каждой группы (или типа) выбирают схему технологического процесса сборки и принципиальную схему типовых средств автоматизации.

Разработка типовой и групповой технологии в основном сводится к окончательному уточнению выбранной схемы сборки и правильности назначения средств механизации и автоматизации, а также к выполнению расчета ожидаемой технико-экономической эффективности от внедрения технологии.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ

Технологические процессы сборки являются, как правило, многовариантными. Они могут быть различными по содержанию, последовательности выполнения операций, а также составу оборудования, инструмента и приспособлений.

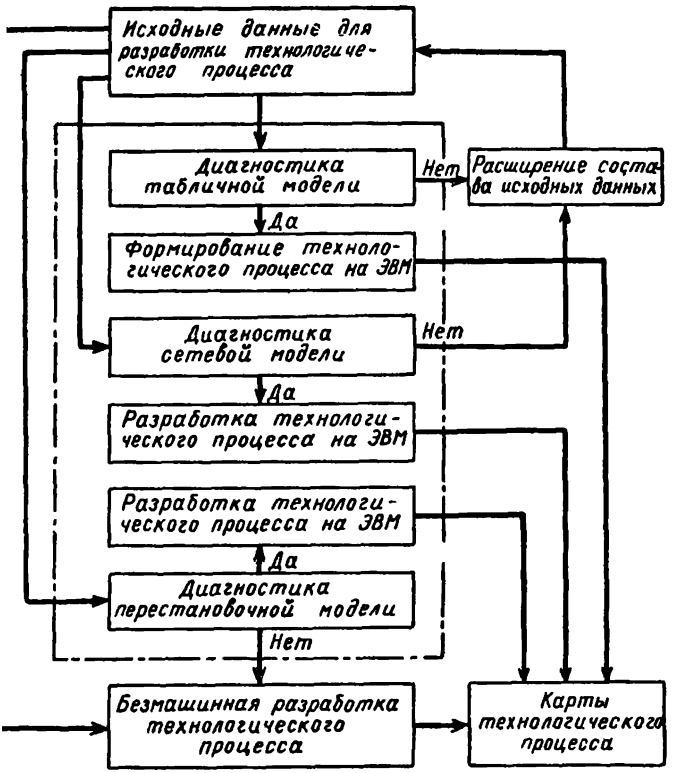
Для оптимального решения задач сборочного производства используют методы линейного и динамического планирования, сетевые графики, методы теории массового обслуживания и другие математические методы с использованием ЭВМ.

Поиск оптимального маршрута выполнения сборочных операций, при котором затраты времени сводятся к минимуму, может осуществляться на основе математических методов сетевого планирования.

Эффективность автоматизированной системы технологической подготовки производства зависит от вида разрабатываемых математических моделей и методов решения задач проектирования, используемых для разработки программ ЭВМ.

Применение типовых и групповых технологических процессов позволяет значительно упростить математические модели производственных систем, которые в зависимости от уровня унификации и на-

я вариантов технологических процессов можно представить в виде ичных, сетевых или перестановочных моделей. Табличные и сете-модели охватывают типовые и групповые технологические процессы ественно при отсутствии и наличии вариантов выполнения опе-й. Перестановочные модели охватывают технологические процессы,



ис. 4. Организация автоматизированной разработки технологических процессов

торых состав и последовательность операций могут изменяться висимости от конкретных свойств изделия и условий производства. этом в процессе автоматизированной разработки технологических ессов сначала осуществляется поиск типовых или групповых тех-гических процессов по табличной модели (рис. 4). При отсутствии х процессов в табличной модели переходят к сетевым и перестач-ным моделям. Такой метод математического моделирования для матизированной разработки технологических процессов сборки на позволяет оптимизировать процесс сборки и снизить трудоемкость аботки процесса в несколько раз по сравнению с безмашинными цами.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ

При автоматической сборке основные операции — операции сопряжения: для разъемных соединений — сопряжение цилиндрических, резьбовых, шлицевых, шпоночных, зубчатых, конических, комбинированных и других соединений; для неразъемных соединений — сопряжение цилиндрических, заклепочных, вальцовочных, сварных, паяных, клеевых, полученных холодной штамповкой, комбинированных и других соединений.

Вспомогательные операции включают питание сборочных станков, ориентирование сборочных элементов, входной контроль и сортировку, поштучное отделение, подачу в рабочую зону, транспортирование с позиции на позицию, переориентацию, установку, снятие, управление, промежуточный контроль и т. д.

К послесборочным операциям относятся окончательный контроль, испытания, доводка, наладка, регулировка, балансировка, счет, герметизация, консервация, упаковка и др.

Типовой технологический процесс автоматической сборки состоит из следующих последовательных переходов: загрузки собираемых деталей в бункерные (или другие) загрузочные устройства и предварительного ориентирования деталей в пространстве в этих устройствах; подачи сборочных элементов в зону сборки на ориентирующие и базирующие устройства; относительного ориентирования сборочных элементов с требуемой точностью; сопряжения и фиксации сборочных элементов с заданной точностью; контроля комплектности и качества сборочной единицы; транспортирования сборочной единицы на следующую позицию или ее съема.

Ориентирование автоматически собираемых деталей в общем случае состоит из четырех этапов: предварительного и окончательного ориентирования в загрузочном устройстве с транспортным лотком; промежуточного ориентирования, осуществляемого питателем, который подает детали из транспортного лотка в зону сборки; первичного базирования деталей на позиции сборки; окончательного базирования деталей на сборочной позиции перед началом сопряжения.

Загрузка деталей. Загрузочные устройства можно разделить на следующие группы: для автоматической подачи проволоки из бунта, полос и прутков; магазинные; бункерные; устройства ориентации деталей электромагнитным, фотоэлектрическим и другими полями.

Автоматическую подачу проволоки из бунта, полос и прутков применяют при совмещении автоматической сборки с изготовлением отдельных деталей.

Наибольшее применение при загрузке сборочного оборудования штучными деталями получили бункерные и магазинные устройства; степень автоматизации магазинных устройств ниже, чем бункерных. В загрузочных устройствах запас деталей размещают магазинным, штабельным или бункерным способами. При магазинном способе детали размещают в один ряд с промежутками (вразрядку) или вплотную (рис. 5, *а*), при штабельном—в один или несколько слоев (рис. 5, *б*), при бункерном — навалом (рис. 5, *в*).

Магазинные загрузочные устройства применяют для деталей относительно сложной формы, с большими размерами и массой деталей, автоматическое ориентирование которых затруднено, а также, когда загрузка навалом может привести к порче собираемых деталей.

В бункерные устройства детали засыпают навалом, там они занимают произвольные положения. Захват, ориентирование и подача деталей осуществляются автоматически.

Применяют новые способы ориентирования деталей электромагнитными, фотоэлектрическими и другими полями.

Схема устройства для электродинамического вторичного ориентирования асимметричных деталей —скоб (рис. 6, *а*) показана на рис. 6, *б*. Ориентирование различных деталей осуществляют соответствующим выбором параметров поля благодаря возникающим электродинамиче-

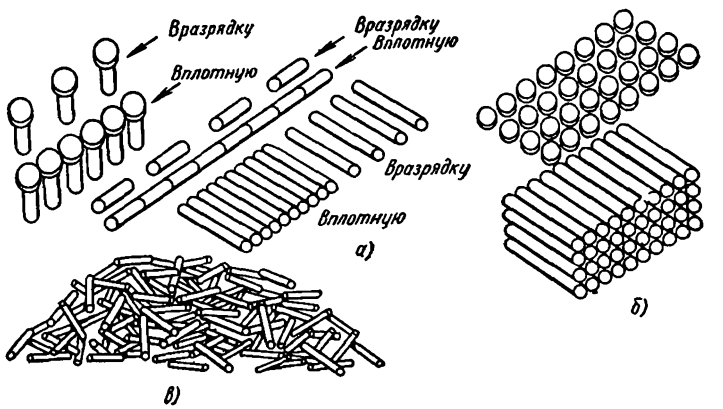


Рис. 5. Способы размещения деталей в емкости автоматических загрузочных устройств:

а — магазинный; *б* — штабельный; *в* — бункерный

ским силам или фокусировке магнитного поля по ориентирующему признаку (рис. 6, *в*).

Для ориентирования пластинчатых деталей *1* (рис. 7) в процессе их свободного падения через зону ориентирования может быть использован электромагнит, состоящий из двух полюсных наконечников *2* и *3* и системы подмагничивающих сердечников *4* с обмоткой Возможно применение двухъярусной магнитной системы.

Для подачи сборочных элементов от загрузочных устройств в зону сборки в сборочных автоматах используют вибролотки (рис. 8). Для того чтобы вибрация от выходного лотка *2* вибропитателя *1* не передавалась на транспортирующий лоток *3*, между выходным и транспортирующим лотками необходимо выдержать зазор $S_л \approx 1{,}5\,A$, где A — амплитуда колебаний лотка вибропитателя. Выдача одной или нескольких деталей осуществляется отсекателем *4*.

Отделение одной (или нескольких) деталей от общего потока деталей, находящихся в лотке, осуществляется отсекателями, которые поштучно выдают детали в питатель или непосредственно в зону сборки на базирующее устройство. Применяют отсекатели с непрерывно движущимся, с качающимся и с движущимся возвратно-поступательно рабочим органом, а также цепные, планочные с колебательным движением, магнитные, струйные, вакуумные и др.

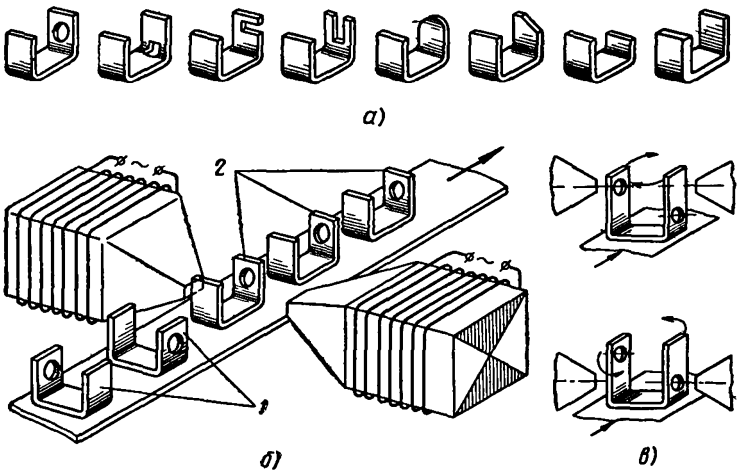


Рис. 6. Схема устройства для электродинамического ориентирования деталей-скоб:

1 — исходное положение деталей; *2* — ориентированное положение деталей

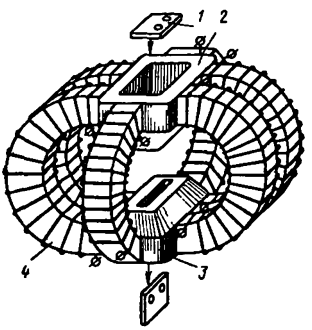


Рис. 7. Схема электромагнита для ориентирования пластинчатых деталей

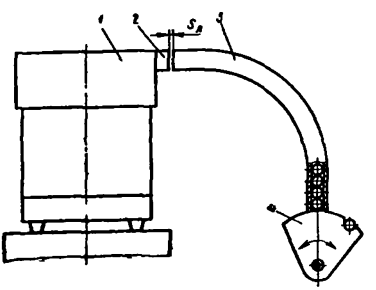


Рис. 8. Схема связи загрузочного устройства с позицией сборки

Для поштучного отделения нежестких плоских деталей, предварительно уложенных в стопу, используют вакуумные присосы, механические захваты, магнитные держатели (для намагничивающихся материалов), липкие ленты и т. д.

На базирующие устройства автоматов детали устанавливают с помощью питателей, связанных с кинематикой сборочного станка, а также под действием силы тяжести, путем принудительной подачи из транспортного лотка на ориентирующее устройство или непосредственно на базовую деталь. Применяют питатели механические, электромеханические, гидравлические, пневматические и др.

У комбинированных питателей (автооператоров) рабочий орган совершает сложное перемещение. Такие питатели можно классифицировать по типу и количеству движений, которые совершает штанга (механическая рука), имеющая захватный орган (захват) При этом захват деталей и перенос на позицию сборки осуществляется магнитами, вакуумными присосками, пружинными, клещевыми и патронными захватами.

Относительное ориентирование сборочных элементов. Сборочные элементы перед началом их соединения должны быть расположены относительно друг друга так, чтобы при любых отклонениях их размеров в пределах заданных полей допусков произошло их беспрепятственное соединение. Ориентирование собираемых деталей с необходимой точностью может осуществляться соответствую-

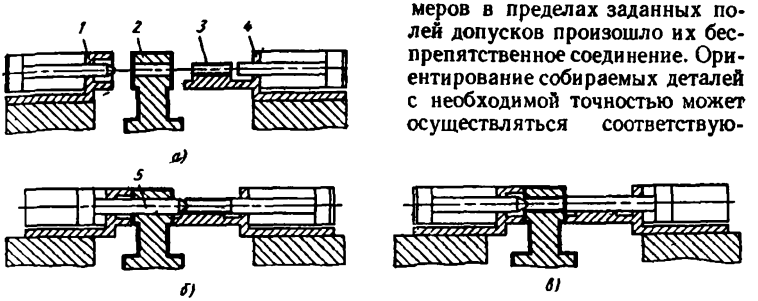


Рис. 9. Схема базирующего устройства с направляющими элементами:

а — исходное положение, *б* — относительное центрирование деталей; *в* — момент окончания сопряжения деталей, *1* — механизм центрирования; *2*, *3* — детали; *4* — механизм запрессовки, *5* — центрирующий штырь

щими направляющими элементами базирующих устройств (рис. 9) или специальными механизмами.

Для относительного ориентирования сопрягаемых деталей используют в ряде случаев метод автопоиска. Одна из деталей при этом движется относительно другой по заранее заданной траектории. В определенный момент оси обеих деталей совмещаются, и производится их сборка. Поисковые движения могут совершать и обе детали одновременно.

Движение детали в процессе автопоиска обеспечивается вибрационными электромагнитными (рис. 10, *а*), механическими (рис. 10, *б*, *в*), пневматическими и другими устройствами.

К более совершенным методам относятся способы ориентирования деталей с контролем их относительного положения. При этих способах в ориентирующем механизме предусмотрено контрольное устройство (рис 11), устанавливающее величину и направление относительного смещения собираемых деталей, а затем выдающее соответствующий командный сигнал исполнительному устройству, которое устраняет данное смещение.

Применяют методы относительного ориентирования деталей с использованием центробежных и гироскопических устройств, механизмов направленного совмещения. Большие преимущества имеет метод ориентирования с помощью вращающегося потока газов и др. Разрабатываются также методы программного ориентирования деталей. Принудительные движения деталей обеспечиваются программным устройством

на основании информации, поступающей от определяющего блока. Такое устройство принимает сигналы о занимаемом положении детали, запоминает требуемые параметры, выполняет логический анализ, определяет оптимальный комплекс необходимых ориентирующих движений, выдает необходимые команды и контролирует точность занимаемого деталью положения.

Сопряжение сборочных элементов с заданной точностью. На характер протекания процесса сопряжения деталей в автоматическом цикле

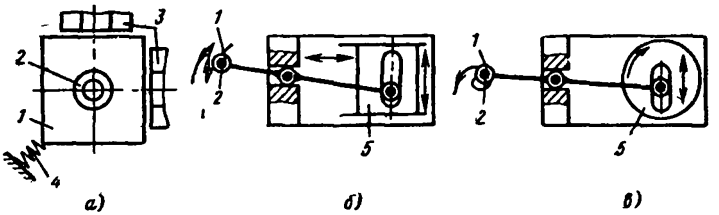


Рис. 10. Схемы устройств автопоиска:

1 — приспособление; 2 — деталь, участвующая в сборке; 3 — электромагниты; 4 — пружина; 5 — механизм движения

оказывают влияние параметры соединения, конструкция и характеристики исполнительного механизма сборочной машины, режимы сборки, схема базирования, величина и направление относительного смещения осей собираемых деталей и другие факторы

В подавляющем большинстве случаев применяют метод соединения деталей с использованием воздействующих на них сил и моментов.

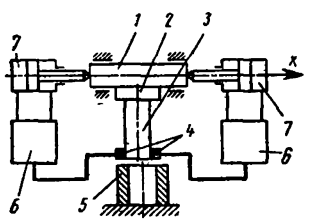


Рис. 11. Схема ориентирующего механизма с контрольным устройством:

1 — подвижная платформа; 2 — зажим, 3, 5 — сопрягаемые детали; 4 — датчики пневмоприводов, 6 — усилители сигналов, 7 — пневмоприводы

На рис. 12, например, представлена последовательность процесса сборки цилиндрических соединений с зазором при различных относительных положениях их осей на сборочной позиции для механизма без ловителя В процессе сопряжения деталей (рис. 12, *а* и *б*) происходит компенсация смещения $E_в$ оси вала относительно оси отверстия втулки в вертикальной плоскости и образуется переменный по величине угол перекоса γ осей втулки и вала. В определенный момент своего перемещения втулка отрывается от базирующего устройства и в таком положении продолжает перемещение, пока полностью не наденется на вал (рис. 12, *а*).

При смещении оси вала относительно оси отверстия втулки в горизонтальной плоскости (рис. 12, *в*) на величину $E_г$ втулка в процессе своего перемещения поворачивается относительно опорных поверх-

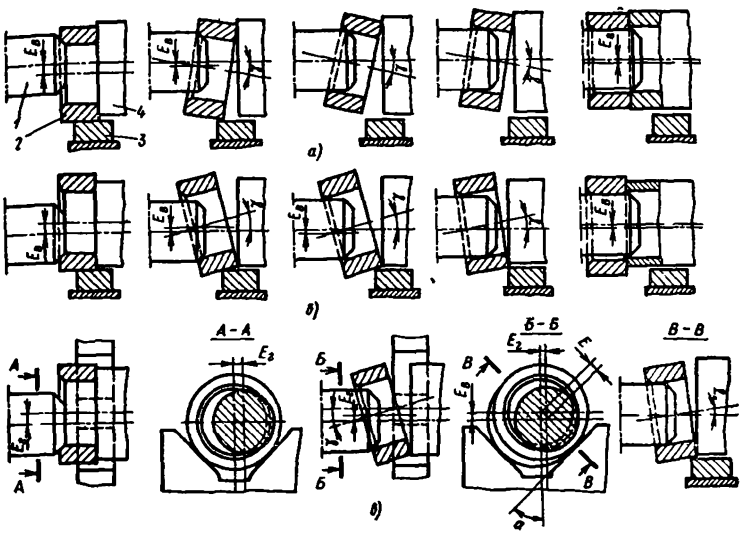


Рис. 12. Схемы последовательности соединения деталей при различных относительных положениях их осей перед началом сборки:

1 — вал, *2* — втулка, *3* — базирующее устройство, *4* — толкатель

ностей призмы и занимает такое положение, при котором величина смещения E будет наименьшей:

$$E = \frac{E_г}{\cos \alpha}, \text{ где } \alpha \text{ — угол призмы.}$$

В общем случае

$$E = \sqrt{E_г^2 + E_в^2}; \quad \gamma = \operatorname{arctg} \sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma_г + \operatorname{tg}^2 \gamma_в},$$

где $\gamma_г$, $\gamma_в$ — соответственно углы перекоса осей собираемых деталей в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Наиболее неблагоприятным является случай, при котором угол перекоса γ находится в плоскости наибольших смещений осей сопрягаемых деталей. При расчетах следует ориентироваться именно на этот случай, что позволяет свести пространственную задачу к плоскостной и сделать расчет гарантированным.

При сборке деталей с натягом относительное смещение E и угол перекоса γ должны быть уже полностью компенсированы на этапе скольжения деталей по их фаскам, что позволяет предотвратить возможные повреждения поверхностей сопряжения. Для обеспечения возможности компенсации смещения E и угла γ необходимо снижать жесткость технологической системы путем введения в систему упругих компенсаторов (рис. 13).

Обеспечение точного сопряжения сборочных элементов обычно достигается применением упоров, калибров, датчиков и т. д.

Закрепление сборочных элементов. В процессе автоматической сборки детали закрепляют различными способами: 1) способами пла-

стической деформации — вальцеванием, отбортовкой, закаткой, загибкой, чеканкой, клепкой; 2) способами специального назначения — армированием, опрессовкой, склеиванием, заливкой компаундами, покрытием специальными смолами; 3) способами теплового воздействия — пайкой, сваркой, термокомпрессией. Разъемные соединения закрепляют завинчиванием, шплинтовкой, с помощью клиньев, шпонок и др. Продольно-прессовые соединения закрепляют штифтовкой, механическим прессованием, соединением с нагревом охватывающей детали, соединением с охлаждением охватываемой детали.

Операции закрепления выполняют в автоматах механизмами закрепления, которые могут быть самостоятельными агрегатами или встроенными блоками. Основные виды движений рабочего органа

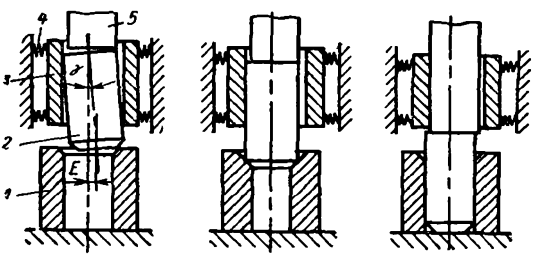


Рис. 13. Схема последовательности сборки деталей при их запрессовке:

1 — втулка; *2* — валик; *3* — втулочный ловитель; *4* — упругий элемент; *5* — толкатель

механизма закрепления при неподвижном положении сборочной единицы приведены в таблице.

Для обеспечения заданного крутящего момента широко применяют однопредельные и регулируемые кулачковые муфты, а также муфты ударно-импульсного действия (см. Справочник металлиста, т. 4).

Контроль комплектности и качества сборочных единиц производят между сборочными операциями (межоперационный контроль) и по окончании сборки изделия. Межоперационный контроль обычно применяют после выполнения операций, обеспечивающих точное выдерживание сборочных параметров.

Устройства контроля могут осуществлять контроль наличия и положения собираемых деталей на сборочной позиции, контроль размеров сборочных единиц и качества сборки. При этом контроль может осуществляться контактным или бесконтактным способом. По конструкции контрольные устройства бывают электрические, фотоэлектрические, радиоактивные, гидроэлектрические, пневмоэлектрические и т. п.

Транспортирование объекта сборки на позиции автомата и съем изделий. Перемещение объектов сборки с позиции на позицию, фиксирование их положения осуществляется транспортными системами, которые могут быть непрерывного и пульсирующего (периодического) действия. Последние получили наибольшее распространение, хотя по производительности они уступают системам непрерывного действия.

Виды движения рабочего органа механизмов закрепления

Операция	Вид движения			
	прямолинейное	вращательное	винтовое (по спирали)	криволинейное
Завинчивание			+	
Запрессовка	+			
Клепка	+		+	
Развальцовка			+	
Отбортовка	+	+		
Чеканка	+			
Намотка		+	+	
Сварка	+	+	+	+
Пайка	+	+	+	+

Транспортные системы сборочных машин разделяют на кольцевые, линейные и горизонтально-замкнутые. Эти системы могут быть непрерывного действия или пульсирующие, при этом процесс сборки может осуществляться без изменения или с изменением положения деталей в процессе их транспортирования

Транспортные кольцевые системы многопозиционного оборудования представляют собой поворотные столы, на которых смонтированы базирующие приспособления, обеспечивающие необходимую ориентацию деталей и узлов, подлежащих сборке, и механизма, осуществляющего периодический поворот стола. Чаще всего поворотные столы имеют 6, 8, 12, 16 и 24 рабочих позиций. Для осуществления периодического поворота применяют пневматические рычажно-зубчатые, кулачковые, червячные (рис. 14, *а, б, в*), а также храповые и мальтийские механизмы.

В линейных транспортных системах в качестве приводных устройств могут быть шаговые, грейферные и храповые механизмы. Шаговый механизм обычно выполняют в виде пластинчатого или цепного транспортера, замкнутых в горизонтальной плоскости. Периодическое перемещение звездочек, осуществляющих движение транспортера, производится поворотными круглыми механизмами. Недостаток транспортеров — удлинение тягового органа (цепей) в процессе эксплуатации, что приводит к потере точности фиксации. Этот недостаток отсутствует у линейных транспортных систем с жесткой системой транспортирования, у которых механизм привода, как правило, имеет штангу, совершающую возвратно-поступательное движение (рис. 14, *г — е*).

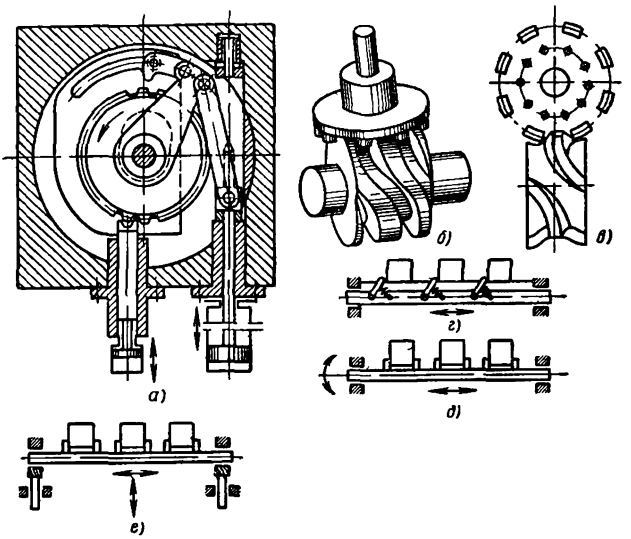


Рис. 14. Схемы транспортных механизмов:

круглых поворотных *а* — пневматический рычажно-зубчатый; *б* — кулачковый, *в* — с червяком-улитой, линейных. *г* — с собачками; *д* — с флажками и поворотной штангой; *е* — с флажками и опускающейся штангой

К транспортным системам непрерывного действия относят роторные и роторно-цепные системы.

Собранные простые узлы могут удаляться с последней позиции путем механического выталкивания или выдувания струей сжатого воздуха в наклонные лотки, по которым они перемещаются в тару. Если сброс узлов в тару приводит к их повреждениям, то применяют специальные механизмы для консервации, упаковки и укладки изделий Если же сборка изделия на одном автомате не закончена, то собранные узлы при помощи особых транспортных средств целесообразно передать на следующую сборочную машину с сохранением их ориентации.

Глава 19

БАЗИРОВАНИЕ И СОЕДИНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКЕ

Базирование деталей на позиции сборки может производиться при вертикальном, горизонтальном и наклонном положении оси собираемых деталей. Некоторые характерные схемы базирования деталей и сборочных единиц показаны в таблице.

Выбор способа относительного базирования основан на учете специфики построения сборочного процесса, конструкции и точностных параметров собираемых деталей и сборочного оборудования, необходимого усилия силового замыкания детали после базирования и других факторов.

Детали, участвующие в сборке, могут базироваться по сопрягаемым или по вспомогательным поверхностям. При базировании чаще всего используют цилиндрические, плоские, конические, комбинированные и резьбовые поверхности, реже — сферические, керновые и ножевые (см. таблицу).

Некоторые возможные способы базирования втулок, показанные на рис. 1, *а — з*, могут быть применены как для базовых, так и для присоединяемых деталей. Чтобы обеспечить требуемую точность относительного углового положения деталей в сечении, перпендикулярном к оси одной из них (например, при сборке шлицевых и шпоночных соединений, зубчатых передач и др.), применяют схемы базирования, изображенные на рис. 1, *и*.

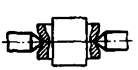
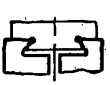
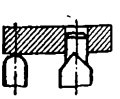
Базирующие устройства для винтов, заклепок и других крепежных деталей обычно имеют подпружиненные элементы, которые удерживают такие детали за стержень.

ПОГРЕШНОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Точность совмещения осей сопрягаемых деталей на сборочной позиции, обеспечиваемая сборочным автоматом, характеризуется суммарной погрешностью Δ_Σ, которая зависит от точности относительного положения ориентирующих поверхностей автомата, точности изготовления сопрягаемых деталей и других факторов. Определение суммарной погрешности Δ_Σ основано на решении пространственной размерной цепи системы собираемые детали — сборочный автомат, где Δ_Σ — является замыкающим звеном.

При сборке деталей различной конфигурации нахождение суммарной погрешности Δ_Σ в общем виде основано на определении всех ее составляющих Δ_{Σ_x}, Δ_{Σ_y}, Δ_{Σ_z}, γ_{Σ_x}, γ_{Σ_y}, γ_{Σ_z} (рис. 2), которые рассчиты-

Установочные поверхности базирующих устройств

Виды поверхностей	Поверхности	
	внутренние	наружные
Плоские		
Цилиндрические		
Призматические		
Конические		
Резьбовые		
Керновые		
Сферические и полукруглые		
Ножевые (ласточкин хвост)		
Комбинированные		

ваются на основе решения соответствующих размерных цепей, где Δ_{Σ_x}, Δ_{Σ_y}, Δ_{Σ_z} — соответственно сумма проекций составляющих погрешности Δ_Σ на оси x, y и z; γ_{Σ_x} и γ_{Σ_y} — угол перекоса осей собираемых деталей соответственно в плоскости xoz и yoz; γ_{Σ_z} — относительный угол поворота осей сопрягаемых поверхностей вокруг оси z.

При сборке гладких цилиндрических соединений, для которых не устанавливаются нормы точности на достижение относительного линейного положения деталей вдоль оси сопряжения, суммарная погрешность Δ_Σ определяется четырьмя своими составляющими Δ_{Σ_x}, Δ_{Σ_y}, γ_{Σ_x}, γ_{Σ_y}. В этом случае суммарная погрешность

$$\Delta_\Sigma = \sqrt{\Delta_{\Sigma_x}^2 + \Delta_{\Sigma_y}^2} + \Delta_\gamma,$$

где Δ_γ — суммарная погрешность, вызванная перекосами осей собираемых деталей на угол γ;

$$\gamma = \operatorname{arctg} \sqrt{\operatorname{tg}^2 \gamma_{\Sigma_x} + \operatorname{tg}^2 \gamma_{\Sigma_y}}.$$

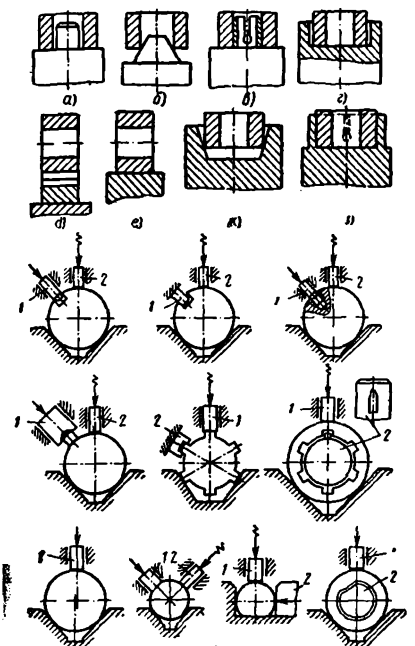


Рис. 1. Схемы базирования втулок (*а—з*) и обеспечивающие заданное угловое положение деталей (*и*):

а — цилиндрическим пальцем; *б* — конусом; *в* — разжимным пальцем; *г* — по наружной поверхности в отверстии; *д* — в призме; *е* — по плоскому упору; *ж* — по конической чашке; *з* — разжимной втулкой; *1* — ловитель; *2* — фиксатор

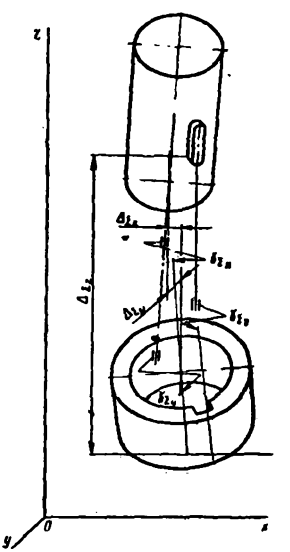


Рис. 2. Схема образования составляющих суммарной погрешности Δ_Σ

Для упрощения расчета суммарной погрешности Δ_Σ целесообразно одну из координатных осей совмещать с таким направлением, где имеет место большинство составляющих погрешности Δ_Σ или превалирующие по величине погрешности. Если погрешности по одной из координатных осей отсутствуют или они настолько малы, что ими можно пренебречь, то, используя метод максимума и минимума, суммарную погрешность Δ_Σ можно определить как

$$\Delta_\Sigma = \Delta_{сх} + \Delta_н + \Delta_ф + \Delta_{ав} + \Delta_з + \Delta'_з + \Delta_и + \Delta_т + \Delta_у, \qquad (1)$$

где $\Delta_{сх}$ — погрешность принятой схемы относительной ориентации собираемых деталей на сборочной позиции; $\Delta_н$ — погрешность настройки ориентирующих элементов сборочного автомата; $\Delta_ф$ — погрешность фиксации; $\Delta_{ав}$ — погрешность, вызываемая геометрическими неточностями сборочного автомата; $\Delta_з$ и $\Delta'_з$ — соответственно погрешность закрепления базовой и присоединяемой деталей на сборочной позиции; $\Delta_и$ — погрешность, обусловливаемая износом ориентирующих поверхностей сборочного автомата; $\Delta_т$ — погрешность, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы.

Рассмотрим основные схемы механизмов, применяемых при автоматической сборке для цилиндрических деталей (рис. 3, *а*). Значения погрешностей $\Delta_{сх}$ для основных схем сборочных механизмов могут быть найдены из следующих зависимостей (рис. 3, *а*):

$$\Delta_{сх_I} = \frac{\delta_в}{2\sin\alpha} + e_в + e_{вт} + \frac{\delta_{вт}}{2\sin\alpha} + \Delta_\beta,$$

$$\Delta_{сх_{II}} = \left(e_в + e'_в + \frac{\delta_в}{2\sin\alpha}\right)\frac{H}{L} + e_{вт} + \frac{\delta_{вт}}{2\sin\alpha} + \Delta_\beta;$$

$$\Delta_{сх_{III}} = e'_в + e_{вт} + \frac{\delta_{вт}}{2\sin\alpha} + \Delta_\beta;$$

$$\Delta_{сх_{IV}} = \frac{\delta_в}{2\sin\alpha} + e_в + \frac{\delta_л}{2} + \Delta_\beta;$$

$$\Delta_{сх_V} = \left(e_в + e'_в + \frac{\delta_в}{2\sin\alpha}\right)\frac{H}{L} + \frac{\delta_л}{2} + \Delta_\beta;$$

$$\Delta_{сх_{VI}} = e'_в + \frac{\delta_л}{2} + \Delta_\beta,$$

где $\delta_в$ и $\delta_{вт}$ — соответственно поля допусков на диаметры наружных установочных поверхностей вала и втулки; $e_в$ — эксцентриситет осей установочной и сопрягаемой поверхностей вала; $e'_в$ — эксцентриситет осей центровых отверстий и сопрягаемой поверхности вала; $e_{вт}$ — эксцентриситет осей отверстия и наружной установочной поверхности втулки; $\delta_л$ — максимальный диаметральный зазор в соединении втулка—ловитель; H — длина втулки; L — расстояние от торца вала, находящегося в зоне сборки, до ближайшего торца его базирующей призмы; α — угол базирующих призм вала и втулки; Δ_β — относительное угловое смещение, учитывающее изогнутость втулки и вала в осевом направлении.

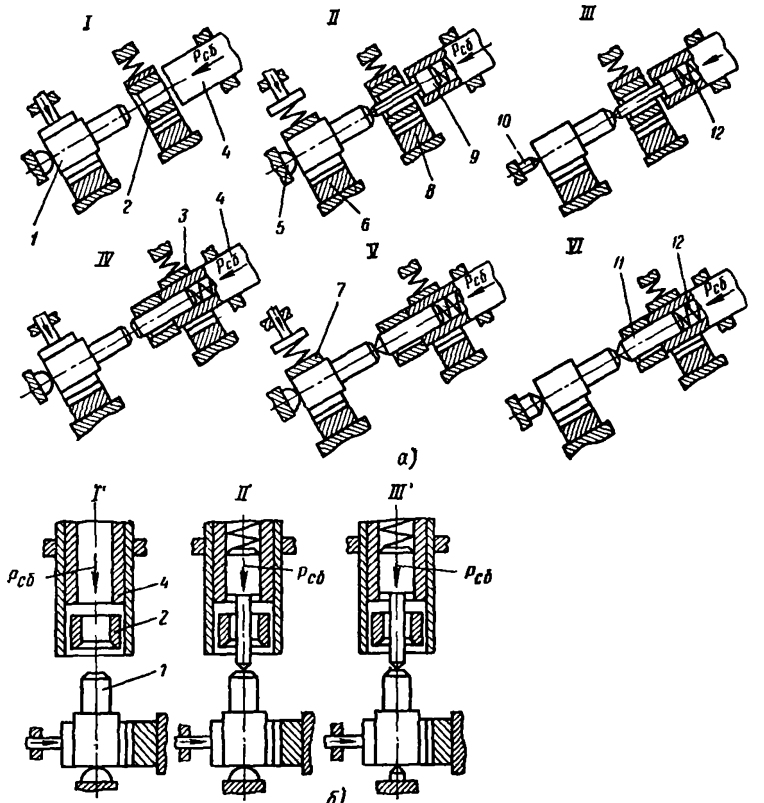


Рис. 3. Основные (*а*) и дополнительные (*б*) схемы сборочных механизмов без компенсаторов для соединения цилиндрических деталей:

1 — вал; *2* — втулка, *3* и *7* — подпружиненные прижимы; *4* — толкатель, *5* — упор, *6* и *8* — установочные призмы; *9* — подвижный центр; *10* — неподвижный центр; *11* — ловитель; *12* — пружина

К дополнительным схемам сборочных механизмов для соединения цилиндрических деталей можно отнести схемы на рис. 3, *б*, погрешности $\Delta_{сх}$ для которых определяют по формулам

$$\Delta_{сх\,I'} = \frac{\delta_в}{2\sin\alpha} + e_в + e_{вт} + \frac{\delta_н}{2} + \Delta_\beta;$$

$$\Delta_{сх\,II'} = \left(e_в + e'_в + \frac{\delta_в}{2\sin\alpha}\right)\frac{H}{L} + e_{вт} + \frac{\delta_н}{2} + \Delta_\beta;$$

$$\Delta_{сх\,III'} = e'_в + e_{вт} + \frac{\delta_н}{2} + \Delta_\beta,$$

где $\delta_н$ — максимальный диаметральный зазор в соединении наружная поверхность присоединяемой детали (втулки) — лоток.

Расчет погрешности $\Delta_{сх}$ для других схем сборочных механизмов, предназначенных для соединения различных по форме собираемых деталей, также основан на выявлении и учете всех составляющих погрешности $\Delta_{сх}$, как и для рассмотренных схем механизмов для соединения цилиндрических деталей.

Погрешность настройки $\Delta_н$, входящая в формулу (1), представляет собой погрешность относительного положения базирующих элементов базовой и присоединяемой деталей. Погрешность $\Delta_н$ имеет место в сборочных автоматах любой конструкции. Путем соответствующей на-

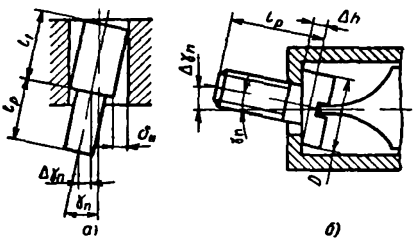


Рис. 4. Схемы образования погрешности, вызываемой перекосом оси присоединяемой детали относительно оси ее базирующей поверхности

стройки погрешность $\Delta_н$ может быть сведена к величине порядка 0,01—0,02 мм

Погрешность фиксации $\Delta_ф$ имеет место в многопозиционных сборочных автоматах, снабженных поворотным столом или шаговым транспортером, в конвейерах, а также в штампо-сборочных автоматах. Ограничение погрешности $\Delta_ф$ достигают применением более точных фиксирующих устройств (например, делительных устройств с винтовыми копирами), для которых $\Delta_ф$ обычно составляет $\pm 0{,}025$ мм. Погрешность $\Delta_ф$ отсутствует у однопозиционных и роторных сборочных автоматов.

К погрешности $\Delta_{ав}$ относятся относительные отклонения от параллельности или перпендикулярности установочных поверхностей сборочного автомата, на которые монтируются базирующие элементы базовой и присоединяемой деталей. Погрешность $\Delta_{ав}$ зависит от точности изготовления автомата и может быть обеспечена в пределах 0,01—0,02 мм

Погрешности закрепления базовой $\Delta_з$ и присоединяемой $\Delta'_з$ деталей зависят от схемы закрепления, величин колебаний зажимных сил и жесткости собираемых деталей, направления приложения зажимной силы, шероховатости и твердости установочных поверхностей и ряда других факторов. Значения $\Delta_з$ и $\Delta'_з$ можно определить по известным формулам или экспериментально. Нередко погрешности $\Delta_з$ и $\Delta'_з$ оказываются незначительными, и ими можно пренебречь при расчете суммарной погрешности Δ_Σ по формуле (1).

Погрешность $\Delta_и$ учитывает износ ориентирующих поверхностей базирующих элементов между двумя поднастройками сборочного автомата. Во многих случаях при расчетах величиной $\Delta_и$ можно пренебречь ввиду ее малости.

Погрешность $\Delta_т$ обычно учитывают только при сборке прессовых соединений с тепловым воздействием. Погрешность $\Delta_т$ определяется экспериментально.

Погрешность Δ_γ определяется суммой погрешностей $\Delta_{\gamma_б}$ и $\Delta_{\gamma_п}$, соответственно вызываемых перекосами осей базовой и присоединяемой деталей. В общем случае погрешности $\Delta_{\gamma_б}$ и $\Delta_{\gamma_п}$ определяются по формулам (рис. 4)

$$\Delta_{\gamma_б} = l_р \sin \gamma_б; \quad \Delta_{\gamma_п} = l_р \sin \gamma_п,$$

где $l_р$ — расчетная длина, определяемая от центра поворота до торца сопрягаемой поверхности; $\gamma_б$ — угол перекоса оси базовой детали относительно оси ее базирующей поверхности; $\gamma_п$ — угол перекоса оси присоединяемой детали относительно оси ее базирующей поверхности.

Для случая, показанного на рис. 4, *а*, $\gamma_п = \arcsin \frac{\delta_н}{l_1}$, где l_1 — длина базовой поверхности валика.

При наличии погрешности изготовления головки винта Δh (рис. 4, *б*) $\gamma_п = \operatorname{arctg} \frac{\Delta h}{D}$, где D — диаметр головки винта.

УСЛОВИЯ СОБИРАЕМОСТИ

Для обеспечения автоматической сборки необходимо выполнить основное условие собираемости $\Delta_\Sigma < \varepsilon$, где ε — допустимое относительное смещение осей деталей на сборочной позиции.

Допустимое смещение ε характеризует технологические возможности сборочного механизма и определяется его параметрами и параметрами собираемых деталей. Для сборочных механизмов (см. рис. 3, *а*) без ловителя (схемы *I*, *II*, *III*) и с ловителем (схемы *IV*, *V*, *VI*) к этим параметрам, например, можно отнести минимальный и максимальный диаметральные зазоры соответственно в соединении втулка—вал и втулка—ловитель; максимальный диаметральный натяг; размеры фасок базовой и присоединяемой деталей; углы фасок; длину присоединяемой детали; шероховатость сопрягаемых поверхностей; углы перекоса осей ориентирующего устройства базовой и присоединяемой деталей и ряд других конструктивных и технологических факторов. Максимальное допустимое смещение ε обеспечивается при оптимальных геометрических, силовых, скоростных и жесткостных параметрах сборочного процесса.

СИЛЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ

Сборочная сила $P_{сб}$ определяется суммой всех сил сопротивления $\sum F$, возникающих в процессе сборки деталей. Непостоянство суммарной погрешности Δ_Σ по величине и направлению, а также нестабильность жесткости технологической системы в ее различных сечениях и направлениях обусловливают образование переменных по величине сил сопротивления, в результате чего сборочная сила на различных этапах сборки может колебаться в широких пределах. При этом наибольшие

силы сопротивления ΣF будут возникать при максимальной суммарной погрешности Δ_Σ (в направлении наивысшей жесткости технологической системы), и, наоборот, силы ΣF будут наименьшими при минимальной погрешности Δ_Σ (в направлении наименьшей жесткости системы). Под действием сборочной силы $P_{сб}$ элементы технологической системы могут упруго отжиматься, что обеспечивает в ряде случаев увеличение величины допустимого смещения ε.

Постоянными составляющими сил ΣF на всех этапах сборочного процесса являются силы трения, возникающие в системе привода сборочного механизма.

Обычно для обеспечения процесса автоматической сборки деталей ориентируются на такую стадию изменения сил сопротивления ΣF в процессе сборки, при которой величина силы $P_{сб}$ получается наибольшей. Максимального значения силы сопротивления ΣF при зазорном соединении обычно достигают при высокой жесткости технологической системы в момент схода присоединяемой детали с ориентирующего устройства.

При сборке деталей с натягом силы сопротивления ΣF достигают своего максимального значения в момент окончания запрессовки

При выполнении прессовых соединений скорость запрессовки колеблется в пределах 2—10 мм/с. Увеличение ее влечет за собой снижение усилия запрессовки, но при этом ухудшается качество и прочность соединения. При необходимости обеспечить наибольшую прочность рекомендуется скорость запрессовки выбирать в пределах 1—3 мм/с

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Геометрические условия собираемости деталей не могут быть достаточными, так как они не учитывают силовые и жесткостные характеристики процесса сборки, оказывающие нередко решающее влияние на величину допустимого смещения ε. Под действием сборочной силы элементы технологической системы деформируются в направлении компенсации суммарной погрешности Δ_Σ. В результате такой деформации действующие силы могут вызывать компенсацию Δ_Σ дополнительно вследствие упругих отжатий элементов технологической системы, упругих деформаций собираемых деталей, а также упругих и пластических контактных деформаций в местах силового касания собираемых деталей.

Для упрощения расчетов при сборке жестких деталей целесообразно не учитывать контактные деформации в местах силового касания и упругие деформации собираемых деталей ввиду их малости. Тогда допустимое смещение с учетом силовых взаимодействий, возникающих в процессе сборки, $\varepsilon = \varepsilon' + y_п + y_б$, где ε' — допустимое смещение, найденное из геометрических условий; $y_п$ и $y_б$ — соответственно упругие отжатия присоединяемой и базовой деталей в процессе их сборки.

Допустимое смещение ε, характеризующее технологические возможности сборочного автомата, необходимо рассчитывать для наиболее неблагоприятного этапа (момента) сборки, на котором обеспечивается его наименьшая величина.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СБОРКА С ПРИМЕНЕНИЕМ САМОПРИСПОСАБЛИВАЮЩИХСЯ СИСТЕМ

Применение самоприспосабливающихся (адаптивных) систем, например, при сборке резьбовых соединений обеспечивает совмещение осей сопрягаемых поверхностей и затяжку деталей на малых скоростях, а свинчивание — на высоких предельных скоростях. Это позволяет улучшить условия сборки детали и снизить время соединения детали.

Применение адаптивных систем при запрессовке деталей позволяет поддерживать силу запрессовки в заданных пределах на всем пути соединения деталей, что обеспечивает выигрыш во времени, поскольку участки пути с бóльшим натягом можно проходить с большей скоростью.

Для сборки прецизионных изделий основное ограничение — допустимая пластическая деформация сопрягаемых поверхностей деталей в зонах контакта, в связи с чем показателями, обеспечивающими качество процесса соединения, могут быть величина и характер изменения сборочной силы, которые могут обеспечиваться адаптивной системой.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СБОРКА СОЕДИНЕНИЙ С ЗАЗОРОМ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ ПОТОКЕ ГАЗОВ

При автоматической сборке соединений с зазором во вращающемся потоке газов присоединяемую деталь помещают в трубку с зазором порядка 1—5 мм, в которой создают вращающийся вихревой поток газов (рис. 5). Под действием сил вращающегося потока газов деталь совершает колебательные движения. Траектория этих движений зависит от параметров детали и трубы с вихревым потоком газа, а также от характеристик вихревого потока. При этом детали сначала ориентируются относительно друг друга, а затем происходит их непосредственное соединение. Несовпадение осей сопрягаемых поверхностей деталей Δ_{Σ} должно находиться в пределах зоны поиска.

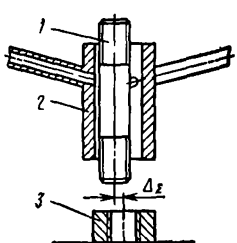


Рис. 5. Схема вихревого метода сборки:

1 — шпилька; *2* — вихревая труба; *3* — базовая деталь

Применение вращающегося потока газов при сборке соединений с гарантированным зазором позволяет обеспечить необходимую относительную ориентацию деталей со сложными сопрягаемыми поверхностями (резьбовые, некруглые, цилиндрические без фасок и т. д.).

Глава 20

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ

Конструктивные особенности изделий и технологические особенности их сборки, а также большое разнообразие сборочных операций обусловливают много разновидностей конструктивных решений сборочного автоматического оборудования. Условная классификация сборочного автоматического оборудования приведена на рис. 1.

На однопозиционном оборудовании собираются изделия с небольшим количеством деталей. В многопозиционном сборочном оборудовании имеются транспортные устройства, перемещающие базовую деталь относительно сборочных механизмов. Многопозиционные полуавтоматы, автоматы и линии применяют при сборке изделий, требующих относительно большого числа операций. На рис. 2 приведена принципиальная схема сборочного полуавтомата карусельного типа с периодическим поворотом стола на угол, определяемый числом позиций. Схема многопозиционного сборочного автомата с круглым столом дана на рис. 3.

Полуавтоматические и автоматические линии могут быть с замкнутым (рис. 4, *а*) и прямолинейным (рис. 4, *б*) размещением оборудования. Изделия обычно устанавливают и закрепляют в приспособлениях-спутниках, которые периодически перемещаются от одной сборочной позиции к другой транспортным устройством.

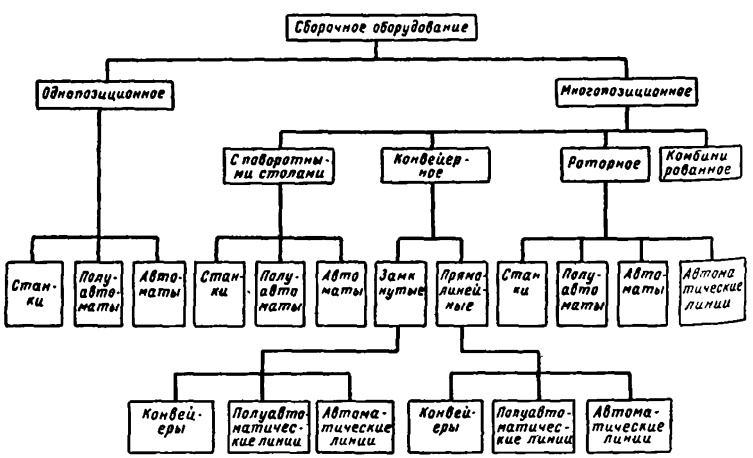


Рис. 1. Классификация сборочного автоматического оборудования

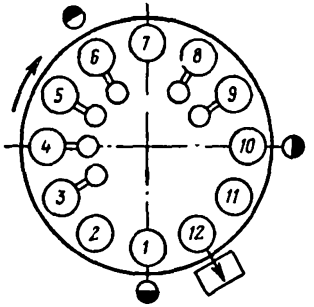


Рис. 2. Схема 12-позиционного сборочного полуавтомата с круглым столом:

1 — позиция ручной загрузки базовой детали; *2, 3, 4, 5, 8, 9* — сборочные позиции, на которых установлены сборочные головки, бункера; подача деталей и сборка производятся автоматически; *6, 10* — позиции ручной сборки; *7* — позиция автоматического контроля; *11* — позиция для автоматической продувки и смазки; *12* — позиция для автоматического съема собранного узла

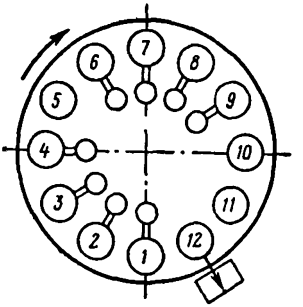


Рис. 3. Схема многопозиционного сборочного автомата с круглым столом:

1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 — позиции автоматической сборки с автоматической подачей деталей из бункеров; *5, 11* — позиции автоматического контроля; *10* — позиция продувки; *12* — позиция съема узла

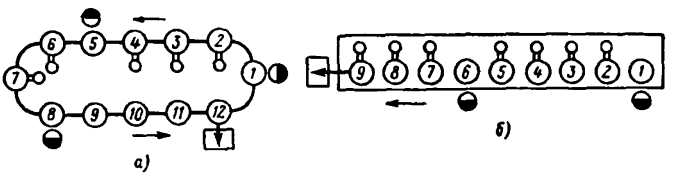


Рис. 4. Схемы полуавтоматических сборочных линий:

а — с замкнутым размещением оборудования: *1* — позиция ручной загрузки; *2, 3, 4, 6, 7* — позиции автоматической сборки; *5, 8* — позиции ручной сборки; *9, 10, 11* — позиции продувки, контроля, смазки; *12* — позиция съема собранного узла; *б* — с линейным размещением оборудования: *1* — позиция ручной загрузки; *2, 3, 4, 5, 7, 8, 9* — позиции автоматической сборки; *6* — позиция ручной сборки

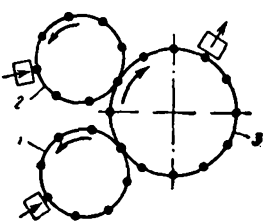


Рис. 5. Схема роторного сборочного автомата: *1, 2* — питающие роторы; *3* — сборочный ротор

На роторных сборочных автоматах и линиях технологический процесс происходит непрерывно благодаря одному или нескольким связанным в одну систему многопозиционным столам — роторам. Для передачи объектов сборки с одного сбо-

рочного ротора на другой в систему вводят транспортные (питающие и снимающие) роторы (рис. 5). К питающим роторам детали подаются из бункерных или магазинных загрузочных устройств. На комбинированном роторном оборудовании могут выполняться также операции по механической и другим видам обработки деталей в процессе сборки.

ОДНОПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛУАВТОМАТЫ И АВТОМАТЫ

На полуавтоматах базовую деталь и некоторые присоединяемые к ней детали, трудно поддающиеся автоматической ориентации, обычно устанавливают на сборочную позицию вручную. Подача остальных

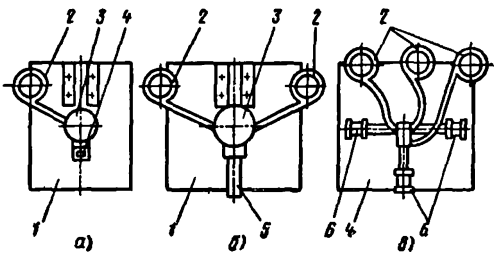


Рис. 6. Принципиальные схемы *однопозиционных сборочных полуавтоматов (а) и автоматов (б, в)*:

1 — станина; *2* — бункер; *3* — сборочная головка; *4* — приспособление; *5* — лоток; *6* — пневмоцилиндры для выполнения технологических операций или подачи деталей в зону сборки

деталей автоматизирована. Съем собранного узла производится автоматически или вручную.

Однопозиционные сборочные автоматы применяют обычно в случаях, когда сборочные единицы имеют две — четыре детали (рис. 6). Эти автоматы могут встраиваться в автоматические сборочные линии.

МНОГОПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛУАВТОМАТЫ И АВТОМАТЫ

Их обычно выполняют на базе поворотных столов диаметром до 3 м с числом позиций сборки от 3 до 36. Точность поворота стола может быть обеспечена ±0,025 мм. Такт работы автоматов с поворотным столом, как правило, составляет 1—8 с.

Для ускорения проектирования и изготовления сборочных многопозиционных станков разработаны их компоновки, отвечающие типовым технологическим решениям. В качестве примера на рис. 7, *а* приведена схема многопозиционного полуавтомата, имеющего шестипозиционный поворотный стол *8*. На позиции *I* вручную устанавливают базовую деталь и надевают шайбу. На позиции *II* автоматически подаваемая из бункера *2* втулка напрессовывается на базовую деталь прессовой го-

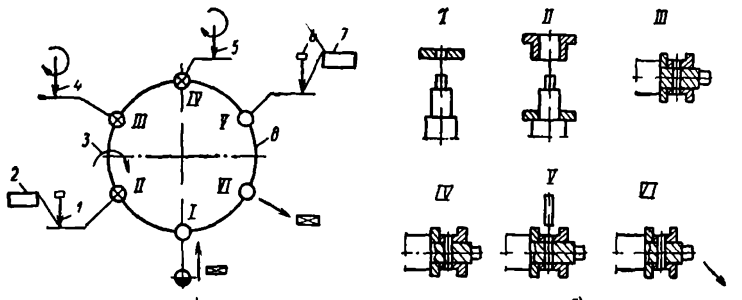


Рис. 7. Многопозиционный полуавтомат для сборки цилиндрических соединений с последующей обработкой отверстия и заштифтовкой:

а — принципиальная схема; *б* — схема последовательности сборки узла

ловкой *1*, после чего устройство *3* поворачивает сборочную единицу на угол 90°. На позициях *III* и *IV* головки *4* и *5* обеспечивают последовательное сверление и развертывание отверстия под штифт. На позиции *V* прессовая головка *6* запрессовывает в отверстие штифт, автоматически подаваемый из бункера *7*. На позиции *VI* собранный узел удаляется.

РОТОРНЫЕ АВТОМАТЫ

Роторные автоматы имеют непрерывно вращающуюся колонну, на которой расположено несколько блоков, осуществляющих сборку. Подача собираемых деталей в блоки рабочего ротора (рис. 8) осуществ-

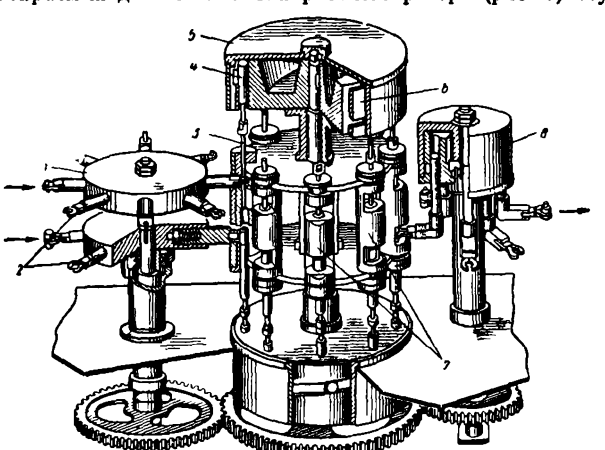


Рис. 8. Роторный сборочный автомат:

1 — двухъярусный транспортный ротор; *2* — ползуны с губками (клещами) для захвата деталей; *3* — пуансон; *4* — ползун; *5* — рабочий ротор; *6* — профилированный шаблон; *7* — сборочные блоки; *8* — транспортный ротор для съема собранных изделий

ляется двухъярусным транспортным ротором, который, в свою очередь, получает детали из автоматических загрузочных устройств. Транспортный ротор снимает с рабочего ротора собранный узел.

У многоярусных роторных сборочных автоматов бункерно-загрузочные устройства устанавливают на самом вращающемся рабочем роторе, а объект сборки последовательно опускается под действием силы тяжести с одного яруса на другой, базируясь в соответствующих сборочных приспособлениях. Многоярусный сборочный автомат (рис. 9) имеет верхний *8* и нижний *12* ярусы, которые жестко соединены между собой и приводятся во вращение от вала ротора, проходящего внутри колонны *13*. На верхнем ярусе установлены три чаши *1*, *4* и *5* бункерно-загрузочной системы, которые подают в зоны сборки три различные детали. Из чаш *1* и *4* детали по лоткам *2* и *3* поступают в приспособление *7* верхнего яруса, где происходит их сопряжение при помощи толкателя, приводимого в действие рычагом *11*, один конец которого входит в паз копира, установленного на неподвижной колонне *13*. Собранное соединение перемещается по лотку *9* в приспособление *10* нижнего яруса, куда по лотку *6* поступает третья присоединяемая деталь из чаши *5*. Собранный узел выдается из приспособления *10* (показано стрелкой). Если автомат встроен в линию, то собранный элемент передается на верхний ярус следующего автомата.

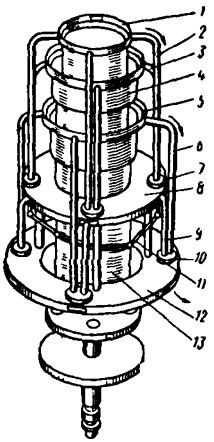


Рис. 9. Принципиальная схема многоярусного сборочного автомата

Многоярусные сборочные автоматы применяют ограниченно; их используют обычно для мелких изделий, требующих не более четырехшести операций сборки.

АГРЕГАТНОЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Агрегатные сборочные станки являются специальными станками, скомпонованными из унифицированных типовых и стандартных агрегатов, узлов и деталей, предназначенных для выполнения определенных функций. К типовым узлам, необходимым для компоновки сборочных машин, относятся узлы: питания, сопряжения, закрепления, контроля, съема, транспортные, систем управления, несущих конструкций.

Создание переналаживаемого типового и агрегатного оборудования основано на анализе конструкций собираемых объектов, содержания и структуры сборочного процесса. Всесоюзный научно-исследовательский технологический институт приборостроения рекомендует типовые узлы автоматического сборочного оборудования (рис. 10), предназначенные для компоновки агрегатных переналаживаемых сборочных машин и линий применительно к условиям приборостроительной промышленности. ВНИТИприбор разработал типовые силовые головки для компоновки однопозиционного агрегатного сборочного оборудования. К ним относятся завертывающие головки с автоматической подачей крепежа, прессовая и вальцовочная головки, прессовая головка с автоматической подачей заклепок и т. д.

Рис. 10. Типовые узлы автоматического сборочного оборудования

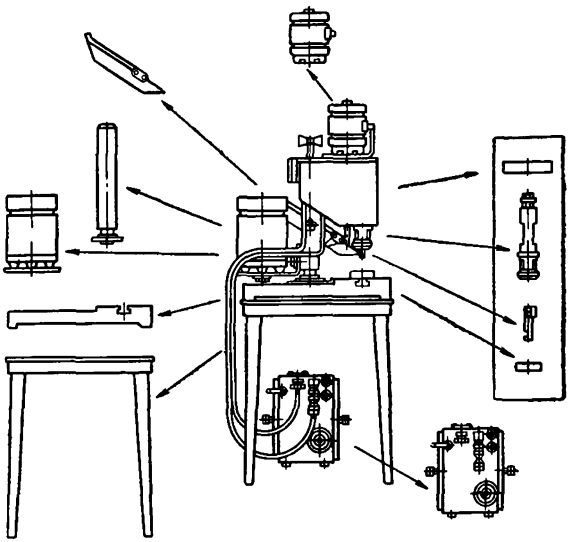


Рис. 11. Типовая компоновочная схема однопозиционной сборочной машины агрегатного типа для свинчивания деталей

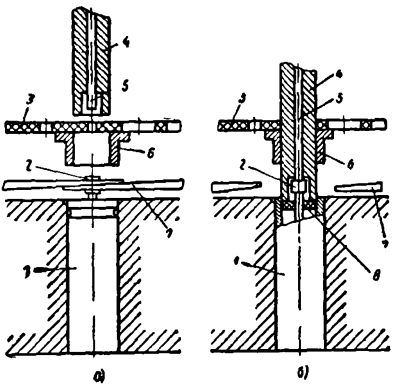
Обычно после выбора силовой головки разрабатывают компоновочную схему агрегатного станка, предусматривая использование стандартизованных элементов. На рис. 11 приведена типовая компоновочная схема однопозиционной сборочной машины, построенной на базе силовой агрегатной головки для свинчивания.

КОМБИНИРОВАННОЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

На комбинированном сборочном оборудовании выполняются одновременно операции изготовления деталей и сборки соединений. Это нередко значительно упрощает подачу и ориентирование деталей.

Широко применяют штампо-сборочные автоматы с коротким временем цикла штамповочных операций, вследствие чего включение их в процесс сборки не приводит к снижению производительности автоматического сборочного оборудования. В качестве примера на рис. 12 приведены схемы процесса вырубки картонной шайбы *8* и постановки ее в стакан *1* так, чтобы через отверстие шайбы прошел стержень *2*. Последовательность процесса следующая: центрирующий стержень *5* движется вниз, проходя через отверстие в картонной ленте *3*, которая подается к сборочной позиции уже с пробитыми отверстиями (рис. 12, *а*). Далее вниз движется пуансон *4*, который вырубает из ленты, опирающейся на матрицу *6*, шайбу *8* и перемещает ее вниз (рис. 12, *б*). При перемещении вниз шайба направляется центрирующим стержнем *5*,

Рис. 12. Схемы совмещения процесса вырубки шайбы (*а*) и установки ее в сборочной единице (*б*)



а стержень *2* центрируется линейками *7*, имеющими полукруглые вырезы.

В заданный момент линейки отводятся, пропуская шайбу на ее место в стакане *1*.

Путем штамповки звеньев и одновременной сборки их при движении стальной ленты в одном направлении изготовляют цепи для сельскохозяйственных машин.

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

Эти линии целесообразно применять для сборки крупногабаритных изделий с большим количеством деталей. Автоматические сборочные линии могут быть с периодическим (шаговым) транспортированием, когда сборка выполняется во время остановки собираемого объекта, и с совмещением сборки и транспортировки.

Для периодического транспортирования объектов сборки применяют шаговые транспортеры, подъемники, распределительные транспортеры, поворотные механизмы, манипуляторы.

Наибольшее распространение получили шаговые транспортеры. Компоновка полуавтоматических и автоматических линий с шаговым транспортером может быть прямолинейного типа и с замкнутым контуром (см. рис. 4). Сборка на линиях обычно производится в приспособлениях-спутниках, соединенных между собой замкнутой цепью, перемещающей спутники с узлами между сборочными позициями.

В качестве примера прямолинейной сборочной линии можно привести полуавтоматическую линию сборки корпуса планетарного редуктора трактора Т-150К со шпильками и болтами. Эта линия (рис. 13) обслуживается тремя рабочими и состоит из восьми рабочих и одной резервной позиций. Корпуса редукторов *15* в количестве 16 шт. загружаются на скат-накопитель *2* подъемным краном *1*. Далее корпуса вручную устанавливают на базирующие подъемные призмы загрузочного стола *4*, расположенного на позиции *I*. При повороте пневмокрана *3* призмы с корпусом опускаются вниз, обеспечивая установку корпуса на подвижные штанги шагового транспортера *6* и вхождение двух установочных штырей в отверстия корпуса.

На позиции *II* осуществляется контроль положения корпуса подвижным шаблоном *5*. На позиции *III* шпильки заворачивают вручную на 1,5—2 нитки резьбы. На позициях *IV* и *V* многошпиндельные шпилькозавертывающие установки *7* и *8* завинчивают шпильки, а на позиции *VI* производится контроль качества затяжки. При необходимости дозатяжка некоторых шпилек производится одношпиндельным подвесным шпильковертом *9*.

На позиции *VII* вручную вставляют восемь болтов в отверстия нижнего фланца корпуса, совмещая плоскости лысок болтов с торцовой

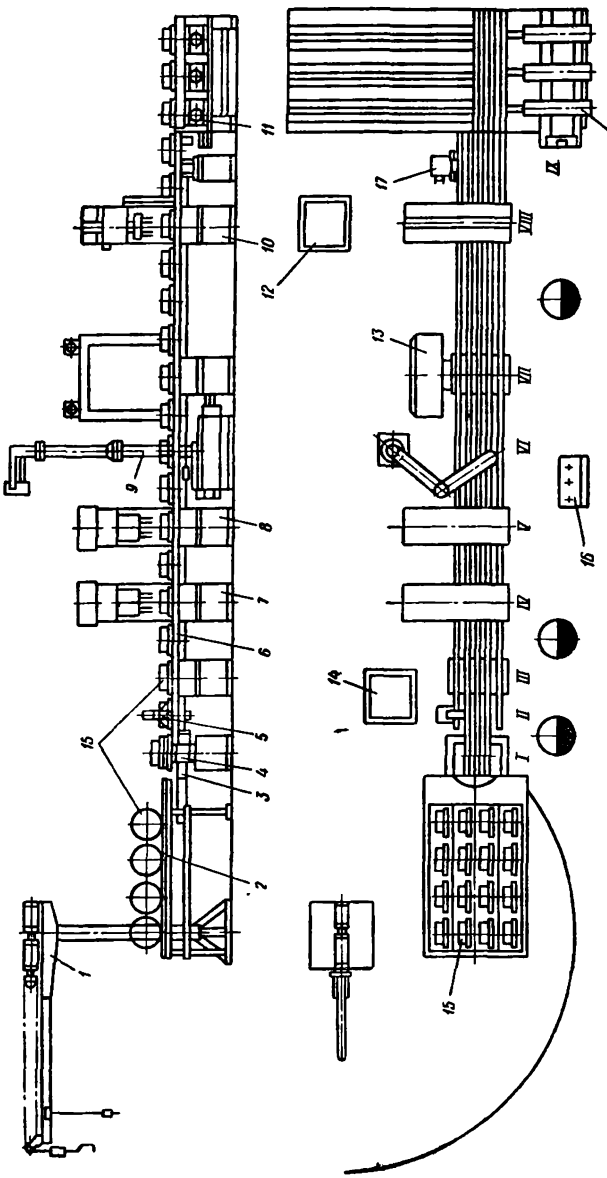


Рис. 13. Схема полуавтоматической линии сборки корпуса планетарного редуктора со шпильками и болтами трактора Т-150К:

1 — подъемный кран; *2* — скат-накопитель; *3* — пневмокран; *4* — загрузочный стол; *5* — подвижный шаблон; *6* — тяговый транспортер, *7* и *8* — многошпиндельные шпилькозавертывающие установки; *9* — одношпиндельный подвесной шпильковерт; *10* — гидравлический пресс, *11* — трехрядный накопитель; *12* и *14* — гидроагрегаты; *13* — аппаратный шкаф; *15* — корпус планетарного редуктора; *16* —пульт управления, *17* — гидростанция смазки; *18* — гидравлический толкатель

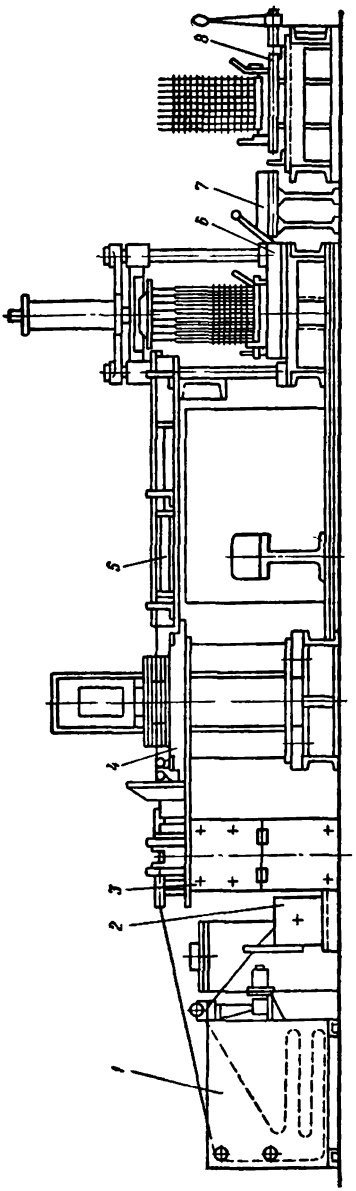


Рис. 14. Схема автоматической линии штамповки и сборки остовов радиатора тракторного двигателя:
1 — магазин; *2* — разматыватель ленты; *3* — кантующий механизм; *4* — штамп; *5* — механизм подачи ленты; *6* — автомат сборки; *7* — роликовый конвейер; *8* — механизм съема остова

проточкой корпуса. Корпус устанавливают на транспортном устройстве при помощи неподвижных фиксаторов, входящих в резьбовые отверстия нижнего фланца. Запрессовка восьми болтов осуществляется гидравлическим прессом *10* на позиции *VIII*. Собранные узлы перемещаются транспортером линии на трехрядный накопитель (позиция IX), секции которого заполняются с помощью гидравлических толкателей *18*. Гидравлические приводные механизмы линии получают питание от двух гидроагрегатов *12* и *14*.

Автоматическая линия для штамповки и сборки остовов радиатора тракторных двигателей показана на рис. 14. Здесь с помощью специальных роликов лента сматывается в магазин, а затем поступает в кантующий механизм *3*, где ленте придается продольная и поперечная жесткость. Отштампованная пластина подается в паз досылателя сборочного автомата с шаговым механизмом подачи *5*. При каждом ходе досылателя вниз пластина отрезается на заданную длину. Шаг оребрения воспроизводится делительным устройством автомата. Далее остов радиатора поступает на роликовый конвейер *7* и снимается механизмом *8*.

СБОРОЧНЫЕ ЛИНИИ С НЕПРЕРЫВНЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ СОБИРАЕМОГО ОБЪЕКТА

Эти линии выполняют на базе сборочных автоматов роторного типа (см. рис. 5 и 8). При этом несколько рабочих роторов соединяют в одну поточную систему с помощью транспортных роторов, которые осуществляют передачу собираемых объектов с одного рабочего ротора на другой. Роторные сборочные линии характеризуются высокой непрерывностью технологического процесса, при котором уменьшается стоимость оборудования, повышается качество процесса, увеличивается надежность эксплуатации. Широко используют роторные линии для сборки втулочно-роликовых цепей, насосного оборудования и других изделий.

Различные варианты схем роторных линий для автоматической сборки узла из шести деталей (узел толкателя топливного насоса) приведены на рис. 15.

В тех случаях, когда в технологическом потоке имеются операции большой длительности (сушка окрашенных поверхностей или клеевых соединений, термическая обработка, пайка и т. д.), возможно применение цепных машин.

КОНТРОЛЬНО-СОРТИРОВОЧНЫЕ АВТОМАТЫ

Эти автоматы предназначаются для контроля и сортировки готовых деталей на размерные группы, что необходимо при селективной сборке. Они осуществляют автоматический прием, ориентирование, транспортирование, контроль и сортировку с помощью механических, электроконтактных, пневматических, индуктивных, емкостных, мехатронных и других преобразователей. Основными устройствами автоматов являются сортировочные устройства.

В высокопроизводительных контрольно-сортировочных автоматах широкое распространение получили дисковые сортировочные устройства с неподвижным расположением заслонок, которые применяют для сортировки деталей простой формы. В этом случае измеренная на контрольной позиции *4* (рис. 16, *а*) деталь продолжает перемещаться вместе

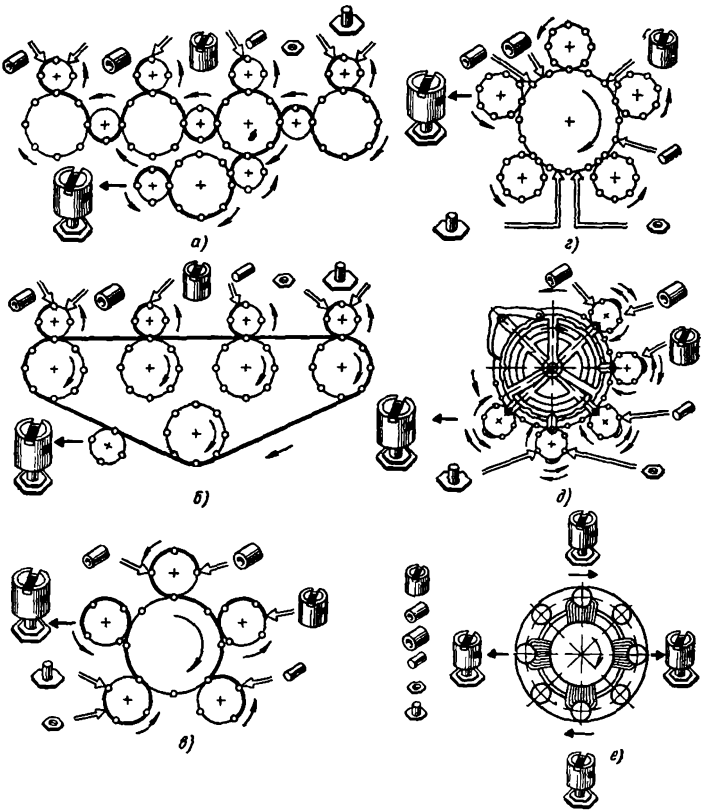


Рис. 15. Схемы роторных линий для сборки толкателя топливного насоса:

а — со свободным транспортированием собираемых элементов в клещевых захватах; *б* — роторно-конвейерная с транспортированием собираемых деталей в приспособлениях-спутниках; *в* — с центральным сборочным и периферийными транспортными роторами; *г* — с центральным транспортным и периферийными сборочными роторами; *д* — с центральным сборочным и периферийными транспортными роторами, имеющими возможность осуществлять сопровождающие движения; *е* — многоярусный вариант сборочного ротора

с транспортирующим диском *3* до заслонки *2* сортировочного отсека *5*, соответствующего номеру группы измеренной детали. В момент прихода детали к заслонке *2* с запоминающего устройства подается сигнал на электромагнит *1*, который открывает соответствующий сортировочный отсек.

Для мелких деталей применяют центробежные сортировочные устройства (рис. 16, *б*), в которых измеренная деталь по лотку *6* поступает на вращающийся диск. Прижимаясь под действием центробежной

силы к наружной его стенке, деталь выбрасывается в соответствующий карман *7*, у которого открыта заслонка *2*.

Для тяжелых деталей применяют сортировочные устройства с транспортером (рис. 16, *в*, *г*). Здесь деталь после измерения подается на транспортер *9* (рис 16, *в*), который в зависимости от номера сортировочной группы детали останавливает ее против соответствующего сортировочного лотка, и толкатель *8*, получивший сигнал с запоминающего устройства, выталкивает деталь в сортировочный отсек *5* При другом конструктивном исполнении (рис. 16, *г*) транспортер *9* непрерывно перемещается вдоль ряда сортировочных заслонок *2* При поднятии определенной заслонки *2* измеренная деталь скатывается по боковой скошенной стороне транспортера в соответствующий сортировочный отсек *5*.

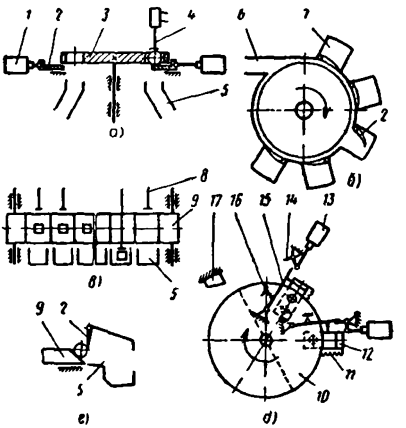


Рис. 16. Схемы сортировочных устройств с принудительным перемещением деталей

Большой производительностью обладают контрольно-сортировочные автоматы с сортировочными устройствами, у которых заслонки встроены в органы, перемещающие сортируемые детали. Измеренная деталь подается в гнездо транспортирующего диска *10* (рис 16, *д*), дном которого является заслонка *12*, перемещающаяся совместно с диском Заслонка удерживается защелкой *16* При подходе детали к соответствующему сортировочному отсеку с запоминающего устройства подается сигнал на электромагнит *13*, который поворачивает рычаг *14* и защелка, натыкаясь на повернутый рычаг, выходит из заслонки Последняя под действием пружины *11* перемещается, совмещается своим отверстием с окном диска, и деталь проваливается в соответствующий отсек Перед позицией подачи детали в гнездо диска заслонка упором *17* автоматически взводится, и защелка под действием пружины *16* заскакивает в нее.

РОБОТЫ

Промышленные работы могут быть в будущем одним из важнейших средств автоматизации сборочных процессов. Они позволяют повысить производительность труда, обеспечивают хорошее качество выполняемых операций, сохраняют постоянную производительность в течение длительного времени, могут применяться на монотонных, утомительных и тяжелых операциях, а также при сборке во вредных и опасных условиях.

Создание роботов для сборочного производства развивается в двух направлениях: 1) разработка гибкопрограммируемых самоприспосабливающихся (адаптивных) конструкций с развитым сенсорным аппаратом; 2) разработка упрощенных конструкций применительно к конкретным условиям производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛ. 18, 19, 20

1 **Буловский П. И.** Основы сборки приборов М., «Машиностроение», 1970, 199 с

2 **Гаврилов А. Н., Ковалев П. И., Ушаков Н. Н.** Автоматизация производственных процессов в приборо- и агрегатостроении М., «Высшая школа», 1968 414 с

3 **Иоффе Б. А., Калниньш Р. К.** Ориентирование деталей электромагнитным полем Рига, «Зинатне», 1972 300 с

4 **Камышный Н. И., Павленко И. И.** Кинематика промышленных роботов — «Вестник машиностроения», 1975, № 1, с 63—65

5 **Капустин И. И., Ильинский Д. Я., Карелин Н. М.** Устройства и механизмы автоматических сборочных машин М., «Машиностроение», 1968. 279 с

6 **Клусов И. А.** Технологические системы роторных машин М., «Машиностроение», 1976 231 с

7 **Косилов В. В.** Технологические основы проектирования автоматического сборочного оборудования М., «Машиностроение», 1976 248 с

8 **Лебедовский М. С., Федотов А. И.** Автоматизация сборочных работ. Л., Лениздат, 1970, 448 с

9 **Малов А. Н., Иванов Ю. В.** Основы автоматики и автоматизация производственных процессов М., «Машиностроение», 1974, 368 с.

10 **Муценек К. Я.** Автоматизация сборочных процессов Л., «Машиностроение», 1969 107 с

11 **Научные** основы автоматизации сборки машин Под ред. М П Новикова М., «Машиностроение», 1976 467 с

12 **Новиков М. П.** Основы технологии сборки машин и механизмов. М., «Машиностроение», 1969 632 с

13 **Пособие** по применению промышленных роботов Под ред. Кацукико Нода Пер с япон М., «Мир», 1975 451 с

14 **Смилянский В. И.** Технологические основы расчета и проектирования автоматических сборочных машин Львов, «Вища школа», 1974 176 с

15 **Сорочкин Б. М., Богданов Э. О.** Автоматизация многодиапазонной сортировки Л., «Машиностроение», 1973 175 с

16 **Технологические** основы проектирования средств механизации и автоматизации сборочных процессов в приборостроении. Под ред В С. Корсакова М., «Машиностроение», 1971 327 с

17 **Яхимович В. А.** Ориентирующие механизмы сборочных автоматов. М., «Машиностроение», 1975. 166 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПОВЕРХНОСТНАЯ ИНДУКЦИОННАЯ ЗАКАЛКА

Способы индукционной поверхностной закалки. Применяют два способа закалки: 1) одновременную и 2) непрерывно-последовательную. При одновременной закалке нагрев и охлаждение производят сразу всей упрочняемой детали (рис. 1, *а*), при непрерывно-последовательной закалке — последовательно одного участка за другим (рис. 1, *б*). Это позволяет закаливать большие поверхности при использовании сравнительно маломощных источников энергии.

Получает распространение и «метод растушевки», при котором нагрев деталей типа тел вращения производят непрерывно-последовательно

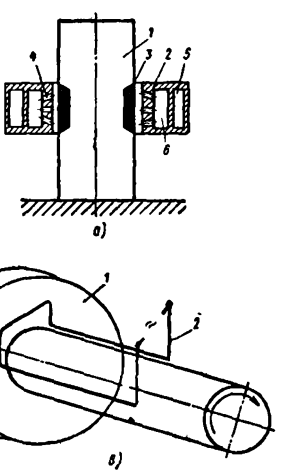


Рис. 1. Схемы поверхностной закалки:

1 — деталь; *2* — индуктор; *3* — зона термообработки; *4* — отверстия для подачи охлаждающей среды; *5* — полость постоянного водяного охлаждения; *6* — полость для закалочной воды

вдоль образующей тела вращения (рис. 1, *в*). После того, как вся поверхность детали нагреется, производят последовательное или одновременное охлаждение. Метод позволяет равномерно нагревать детали с галтелями малого радиуса и труднодоступные поверхности, для нагрева которых ранее требовалось применять разъемные индукторы.

Ряд высоконагруженных деталей сложной формы (крестовины, подшипники и др.) подвергают объемно-поверхностной закалке — на-

грев производят насквозь, поверхностный закаленный слой образуется из-за пониженной прокаливаемости стали.

Особенности нагрева при поверхностной индукционной закалке. Индукционный нагрев осуществляют пропусканием переменного тока через замкнутый проводник (индуктор), расположенный в непосредственной близости от детали. Токи распространяются по сечению детали неравномерно (так называемый скин-эффект) Глубину проникновения тока от поверхности в глубь металла определяют по формуле

$$\delta = A\sqrt{\frac{\rho}{\mu f}},$$

где $A = \sqrt{25{,}3009 \cdot 10^6}$ Гц · см/Ом — коэффициент; ρ — удельное сопротивление, Ом·см; μ — относительная магнитная проницаемость; f — частота, Гц.

При индукционном нагреве тепло выделяется непосредственно в поверхностном слое детали. Вначале нагревается тонкий поверхностный слой, соответствующий холодной глубине проникновения тока. После нагрева поверхности до точки Кюри прогреваются более глубокие слои, где магнитная проницаемость еще велика. При этом нагрев поверхности будет продолжаться со значительно меньшей скоростью.

Минимальная глубина закалки в производственных условиях:

Частота, Гц	2000	8000	100 000	1 000 000
Минимальная глубина закалки, мм	1,5	1,2	0,75	0,25

Индукционный нагрев накладывает ограничения и на размеры (диаметр) нагреваемой детали. Чем меньше деталь, тем более высокие частоты требуются для ее нагрева:

Частота, Гц	1000	3000	8000	200 000	500 000
Наименьший размер, мм	22	13	8	1,5	1,0

Выбор частоты тока и мощности генераторов для поверхностей закалки. Наиболее экономичным является нагрев, когда глубина проникновения тока больше требуемой глубины нагрева под закалку. В этом случае перегрев поверхности и время нагрева минимальны. Чем больше заданная глубина закалки, тем более низкую частоту следует применять:

Частота, Гц	8000	2500	1000	50
Глубина закалки, мм:				
рекомендуемая	1,3—5,5	2,4—10	3,6—16	17—70
оптимальная	2,7	5,0	8,0	34

Выбранная частота при заданной глубине нагрева определяет удельную мощность p_0 (мощность электрического тока, кВт, приходящуюся на 1 см^2 поверхности нагреваемой детали), и время нагрева. Чем большей глубины нагрева требуется достигнуть при заданной частоте, тем меньшие удельные мощности следует применять. Зная удельную мощность, можно определить требуемую мощность генератора:

$$P = \frac{p_0 S}{\eta},$$

где S — площадь нагреваемой поверхности, см^2; η — произведение коэффициентов полезного действия индуктора, трансформатора, конденсаторов и линии передачи; может быть принято примерно 0,6.

Частота тока и мощность генератора, принятые для данной детали, определяют параметры установки для индукционной закалки.

Основные элементы установки: 1) источники переменного тока; 2) нагревательный индуктор; 3) высокочастотный трансформатор (для согласования параметров генератора и индуктора); 4) конденсаторная батарея — для повышения коэффициента мощности (cos φ) на зажимах индуктора; 5) система автоматического управления циклом обработки детали и регулирования мощности; 6) система охлаждения обрабатываемых деталей и элементов установки; 7) станок или приспособление, на котором происходит обработка деталей; 8) линии передачи токов.

Источники переменного тока. Для поверхностной закалки используют источники переменного тока с частотой от 50 Гц до 15 МГц.

Питание установок токами промышленной частоты (50 Гц) происходит непосредственно от сети или понижающих силовых трансформаторов.

Повышенные и высокие частоты получают с помощью машинных и ламповых генераторов. Для частот 500—10 000 Гц применяют машинные генераторы, которые совместно с приводными двигателями называются преобразователями. Для индукционного нагрева промышленностью выпускаются машинные преобразователи различных типов (табл. 1).

1. Технические данные машинных преобразователей

Тип преобразователя	Частота, Гц	Мощность, кВт		Напряжение генератора, В
		генератора	двигателя	
ВПЧ	2 400; 8 000	12; 20; 30; 50; 100	16; 30; 41; 76; 138	100; 200; 400; 800
ОПЧ	1 000; 2 400;	250; 320;	291; 364;	800;
ВГО	10 000 500; 1100; 2600; 8000	500 250; 500; 1500	575 350; 700; 2000	800/1600 1500/750
КПД машинных преобразователей ≈ 70%.				

Ламповые генераторы преобразуют ток промышленной частоты в токи частотой 50—15 000 кГц с помощью электронной генераторной лампы. Для индукционной поверхностной закалки промышленностью выпускаются генераторы с частотой 66 и 440 кГц (табл. 2).

Для поверхностной закалки используют также тиристорные преобразователи на средние частоты (200—1000 Гц). Преобразование частоты в таких устройствах происходит за счет коммутации постоянного тока управляемыми вентилями (тиристорами). Важнейшей положительной характеристикой этих преобразователей является высокий КПД (более 90%).

2. Характеристики ламповых генераторов

Тип установки	Напряжение сети, В	Колебательная мощность, кВт	Рабочая частота, кГц
Л3-13	220 или 380	10	440±2,5%
Л31-25		25	$66^{+12\%}_{-10\%}$
Л32-67	380	63	
Л3-107В		100	
Л3-167		160	
ВЧИ-63/0,44—3П		63	440±2,5%
КПД генераторов ≈60%			

Индукторы. Ширина индуктора при одновременном способе нагрева должна быть на 10—20% больше ширины закаливаемого слоя. При непрерывно последовательной закалке ширина индуктора определяется мощностью генератора или заданной производительностью. Зазор между закаливаемой деталью и индуктором не должен превышать 5—10% диаметра закаливаемой детали, желательно, чтобы он составлял 2—3 мм. Толщина трубки, из которой изготовлен охлаждаемый водой индуктор, определяется частотой тока (табл. 3).

3. Толщина трубки индуктора, мм

Толщина трубки	Частота тока, Гц					
	50	500	1000	2500	8000	70 000
Предельная	12—28	3,7—8,4	2,9—6,5	1,8—4	1—2,3	0,35—0,8
Оптимальная	16	5	3,6	2,3	1,3	0,4

При одновременной закалке через индуктор может подаваться закалочная вода (рис. 1, *а*). При непрерывно-последовательной закалке вода, охлаждающая индуктор, может использоваться и для закалки деталей (рис. 1, *б*).

Трансформаторы повышенной частоты для индукционного нагрева понижают напряжение генераторов со 100—1500 до 8—150 В. В установках с машинными генераторами трансформатор имеет магнитопровод из трансформаторной стали толщиной 0,2—0,35 мм. Первичные и вто-

ричные обмотки трансформаторов охлаждаются водой под давлением 1,5—2 кгс/см². Серийные трансформаторы выпускаются с постоянным и переменным коэффициентами трансформации.

Трансформатор выбирают исходя из требуемой мощности нагрева. Необходимый коэффициент трансформации K подбирают при настройке из условия достижения максимального тока при номинальном напряжении генератора.

Приближенно его можно оценить по формуле

$$K = K_1 \sqrt{\frac{J_1 U^2}{U_1 P}},$$

где K_1 — коэффициент трансформации, при котором значения силы тока и напряжения составляют соответственно J_1 и U_1; U — номинальное напряжение генератора, В; P — требуемая мощность, Вт. В случае применения многовитковых индукторов установки могут быть без трансформатора.

Конденсаторы. Для ламповых генераторов используют керамические конденсаторы. В установках средней частоты применяют конденсаторы с бумажным диэлектриком, пропитанным маслом или синтетической жидкостью (табл. 4). Обкладкой пакета конденсатора служит алюминиевая фольга. Пакет конденсатора разделен на секции, каждая из которых является самостоятельным конденсатором. Охлаждение водяное.

4. Техническая характеристика некоторых конденсаторов повышенной частоты

Параметры	Конденсаторы			
	бумажно-масляные		бумажно-соволовые	
	ЭМВ-375-2,5	ЭМВП-750-8	ЭСВ-375-2,5	ЭСВП-750-8
Напряжение, В	375/750	750	375/750	750
Частота, Гц	2500	8000	2500	8000
Мощность, квар	125	180	200	300
Емкость, мкФ	56,7	5,67	90,8	10,6
Число секций	4	5	4	5
Расход воды, л/мин	2	2	2	2

Конденсаторы выбирают исходя из частоты тока и мощности нагрева. Оптимальную емкость конденсаторной батареи подбирают при настройке, добиваясь минимального тока генератора при заданном напряжении.

Системы автоматического управления циклом обеспечивают идентичность результатов термообработки деталей одинакового типоразмера за счет поддержания постоянства интервалов, в течение которых происходят нагрев и охлаждение, с помощью реле времени и стабилизации или регулирования электрических режимов индукционного нагрева.

В промышленности используют регуляторы с обратной связью по напряжению генератора, индуктора, току контура, а в процессе наладки и по температуре детали. Наиболее эффективным является регулирование с обратной связью по напряжению и току индуктора.

В настоящее время получают распространение тиристорные возбудители, стабилизирующие или регулирующие режим индукционного нагрева (табл. 5).

5. Технические характеристики тиристорных возбудителей

Параметры	ВТ-20	ВТ-80	ВТП-1
Ток выходной номинальный, А	20	80	0÷20
Напряжение выходное постоянного тока, В	180	180	200
Точность стабилизации, %	±1	±1	±1

Программный тиристорный возбудитель ВТП-1 имеет модификации с числом ступеней регулирования от 1 до 5.

Регулирование нагрева многоступенчатыми программными регуляторами позволяет получать постоянную скорость нагрева в области фазовых превращений или нагрев с изотермической выдержкой, что предохраняет сталь от перегрева.

Система охлаждения. Охлаждению при индукционной закалке подвергают деталь после нагрева и важнейшие элементы установки: индукторы, трансформаторы, конденсаторы. При закалке душем расход воды 0,01 л/с на 1 см^2 закаливаемой поверхности. Многие установки снабжены баком и насосами для подачи закалочной воды.

Охлаждение при закалке производится или в индукторе, или в специальном охладительном устройстве. При душевом охлаждении вода подается через отверстия диаметром 1—3 мм, которые сверлят из расчета 2—3 отверстия на 1 см^2. Площадь подводящих шлангов к охладителю должна быть больше суммарной площади выходных отверстий спрейера.

В настоящее время широко используют и охлаждение *потоком*, которое рекомендуют для закалки изделий сложной формы, например крестовины кардана.

Элементы установки охлаждают при давлении 1,5—3 кгс/см^2. Количество воды, идущее на охлаждение, определяют в зависимости от потерь в охлаждаемом элементе из расчета, чтобы вода нагревалась не более чем на 15—20° С.

Станки для индукционной закалки. Основное назначение станков и приспособлений — обеспечить точную и надежную установку детали в индукторе и охладителе, а также перемещение детали при нагреве

и охлаждении, когда это требуется. На станках-автоматах и полуавтоматах осуществляется, кроме того, автоматическая установка детали в индуктор и охладитель и съем детали. Распространены станки-автоматы с бункерной загрузкой, а также с магнитным захватом, забирающим детали с конвейера для термообработки и передающим их на другой участок конвейера после окончания цикла закалки.

Линии передач токов высокой частоты могут быть выполнены из плоских шин, трубчатых проводов, концентрических трубчатых фидеров, коаксиальных высокочастотных кабелей и силовых одножильных и многожильных кабелей, применяемых в сетях промышленной частоты, причем одножильный кабель можно использовать только без защитной свинцовой или алюминиевой оболочки. Для разрыва цепей с током высокой частоты разработана специальная серия контакторов К1000, снабженных дугогасительной камерой.

Закалочные установки. Отечественными заводами выпускаются высокочастотные универсальные установки с машинными генераторами (табл. 6). Технологическую оснастку для них изготовляют потребители в зависимости от характера термообрабатываемой детали. Для деталей массового производства проектируют и изготовляют большое число специализированных установок. В качестве примера в табл. 6 приведены параметры специализированной установки для объемно-поверхностной закалки крестовины кардана.

6. Характеристика некоторых закалочных установок с машинными генераторами

Параметры	ИЗ1-30/8	ИЗ2-100/2,4	ИЗ2-100/8	Установка для закалки крестовины кардана
Тип преобразователя	ВПЧ-30/8	ВПЧ-100/2,4	ВПЧ-100/8	ВПЧ-100/2,4
Число преобразователей	1	1	1	2
Мощность при высокой частоте, кВт	30	100	100	130
Частота, Гц	8000	2400	8000	2400
Напряжение, В	400	800	800	400
Тип закалочного трансформатора	ТЗ1-200	ТЗ2-800	ТЗ2-800	Без трансформатора
Число конденсаторов	2	5	5	14
Рекомендуемая (для специализированного станка фактическая) поверхность для одновременного нагрева, см²	100	200	200	150
Глубина закаленного слоя, мм	1,3—5	2,5—10	1,3—5	1,3—3 (нагрев сквозной)

Особенности фазовых превращений при индукционном нагреве. Малая продолжительность пребывания при температурах фазовых превращений создает особенности в характере превращения и структуре образующегося аустенита. Образование аустенита в этих условиях не успевает завершиться вблизи критических точек и смещается к более высоким температурам, где время, необходимое для

завершения превращения, резко уменьшается. В эвтектоидной стали превращения ускоряются за счет увеличения скорости роста зародышей и скорости их образования, причем последняя возрастает с очень высокой интенсивностью с повышением температуры.

Для эвтектоидной нормализованной стали (точка Кюри 770° С) время, необходимое для окончания превращения, становится сравнимым с временем пребывания стали в интервале 765—775° С при скорости нагрева 50—100° С/с. В этих условиях при непрерывном нагреве превращение успевает завершиться к 775° С (табл. 7). Чем больше скорость нагрева, тем при относительно более высоких температурах завершается образование аустенита, таким же образом влияет и огрубление исходной структуры. В эвтектоидной стали образование аустенита может завершиться при некотором содержании остаточного цементита.

В доэвтектоидной стали в нормализованном состоянии кинетика образования аустенита тормозится из-за содержания, кроме перлита, структурно свободного феррита, что существенно задерживает превращения. Металлографическое исследование показывает, что в этом случае при нагреве со *скоростями 10—1000° С/с* до температур, близких к 910° С, на участках структурно свободного феррита образования устойчивых зародышей не происходит. В этих условиях превращение феррита в аустенит протекает за счет роста аустенитных зародышей, возникших на месте перлита, при одновременной диффузии углерода из бывших перлитных зон. Если к моменту достижения 910° С участки феррита еще остаются, то в них образуются зародыши аустенита и происходит полиморфное превращение в аустенит. Однако для достижения оптимальных свойств в этом случае требуется дополнительный нагрев, обеспечивающий *равномерное распределение* углерода за счет диффузии. Для доэвтектоидной нормализованной и отожженной стали это может произойти значительно выше 910° С (табл. 7).

Особенностью структуры аустенита после окончания превращения при индукционном нагреве является ее мелкозернистость. *При смещении* фазовых превращений в область более высоких температур, характерном для индукционного нагрева, скорость образования зародышей возрастает значительно более интенсивно, чем скорость их роста. Это должно обеспечивать измельчение зерна аустенита, что и наблюдается в действительности (табл. 7).

На сталях с содержанием более 0,4% углерода при дисперсной исходной структуре без участков структурно свободного феррита при скоростях нагрева выше 100° С/с удается достигнуть размера начального зерна 4—8 мкм^2 (14—15 баллов). При нормализованной исходной структуре *доэвтектоидной стали* в процессе диффузионного превращения феррита в аустенит начальное зерно, образовавшееся на месте перлита, успевает вырасти до 30 мкм^2 (12 баллов).

Мелкое начальное зерно интенсивно растет при дальнейшем нагреве или в процессе изотермической выдержки (*рис. 2, кривая 1*). Удается выявить ступенчатый характер этого роста: сначала происходит рост от начального до устойчивого размера, затем устойчивый размер сохраняется в некотором интервале температур, после чего происходит дальнейший рост зерна. Рост от начального размера до устойчивого происходит тем быстрее, чем больше размер устойчивого зерна. Для сохранения мелкого зерна необходимо, чтобы начальное и устойчивое зерна были малой величины. Размер устойчивого зерна определяется величиной и количеством частиц второй фазы, сдерживающих рост

7. Температура окончания превращения T и величина начального зерна S аустенита сталей при непрерывном нагреве

Сталь	Скорость нагрева, °С/с	Исходное состояние стали: нормализованное T, °С	нормализованное S, мкм² (балл)	отожженное T, °С	отожженное S, мкм² (балл)
У8	0,02	735	280 (8—9)	780	50 (11—12)
	10	760	25 (12—13)	800	10 (13—14)
	100	775	7 (14—15)	820	8 (14)
	1000	780	4 (15)		
40	0,02	800	300 (8—9)		
	10	840	50 (11—12)	850	110 (10)
	100	870	50 (11—12)		
	1000	950	40 (11—12)	1050	250 (9)
20	0,02	870	600 (7—8)	—	—
	10	960	200 (9—10)		
	100	1020	250 (9)		
	1000	1150	700 (7—8)		

Сталь	Скорость нагрева, °С/с	Исходное состояние стали: закаленное T, °С	закаленное S, мкм² (балл)	улучшенное (закалка, отпуск 650° С) T, °С	улучшенное (закалка, отпуск 650° С) S, мкм² (балл)
У8	0,02			740	300 (8—9)
	10	765	20 (12—13)	770	22 (12—13)
	100	775	7 (14—15)	785	7 (14—15)
	1000	780	4 (15)	800	5 (14—15)
40	0,02				300 (8—9)
	10	800	30 (12)	800	30 (12)
	100	800	12 (13—14)	810	12 (13—14)
	1000	800	6 (14—15)	820	6 (14—15)
20	0,02	870	900 (7)		
	10	870	150 (9—10)	870	150 (9—10)
	100	870	120 (10)	880	100 (10)
	1000	870	50 (11—12)	880	40 (11—12)
4Х5В2ФС	10	950	30 (12)	950	30 (12)
	1000	1050	5 (14—15)	1050	5 (14—15)

зерна. Чем больше их количество и меньше размеры, тем меньше размер устойчивого зерна. В большинстве сталей частицами, сдерживающими рост зерна, являются нитриды алюминия, в сталях с Ti, Nb соответствующие карбиды.

Размеры частиц карбидов и нитридов поддаются регулированию. Их можно измельчить за счет растворения при высоких температурах (> 1200° С) и последующего выделения в интервале 600—700° С. Подобная обработка измельчает устойчивое зерно до 12—13 баллов. При этом мелкое начальное зерно, возникшее при быстром индукционном нагреве, не растет в широком интервале температур (рис. 2, кривая 2).

В производственных условиях размер устойчивого зерна аустенита удается регулировать как для стали, подвергаемой горячей штамповке, так и для стали, используемой в состоянии проката. В первом случае для измельчения карбидов и нитридов нагрев под пластическую деформацию производят при температурах не менее 1150—1250° С, а затем ускоренное охлаждение в интервале температур 1100—800° С (за 20—30 с). Растворившиеся при нагреве частицы не успевают выпасть в этом интервале температур, а выделяются при 600—700° С в мелкодисперсном состоянии.

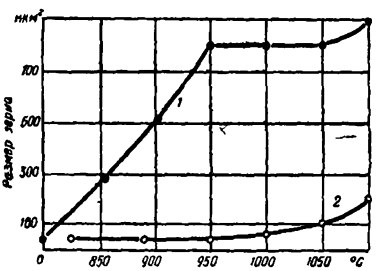


Рис. 2. Размер зерна стали 58 (55ПП) в зависимости от температуры нагрева (скорость нагрева 3 °С/с, устойчивое зерно): *1* — *800 мкм²*, *2* — *40 мкм²*

Для деталей массой 1—2 кг такие скорости охлаждения имеют место при обычной укладке в тару после ковки. Для крупных поковок требуется принудительное ускоренное охлаждение.

Для поковки (массой 30 кг) ведомой цилиндрической шестерни главной передачи автомобиля ЗИЛ-130 применяют охлаждение в баке с водой, куда поковка попадает непосредственно после обрубного штампа. Через 18 с поковка переносится конвейерной лентой из бака в тару. Температура поковки после выхода из бака 700° С. Нормализация поковок производится при 830—850° С, чтобы избежать коагуляции частиц.

Для деталей, изготовляемых из проката, дисперсное состояние карбидов и нитридов в стали может быть получено путем соблюдения указанных выше условий нагрева и охлаждения при прокатке.

Механические свойства поверхностно-закаленных деталей определяются свойствами закаленного слоя, его толщиной, свойствами сердцевины, распределением свойств по поверхности детали. Свойства закаленного слоя связаны величиной зерна аустенита. Границы зерна аустенита ограничивают размер мартенситных кристаллов, возникающих при закалке. При измельчении зерна одновременно возрастают прочность и пластичность закаленного слоя, повышается весь комплекс механических свойств: 1) пределы текучести и прочности при вязком разрушении возрастают (при измельчении зерна от 8 до 15 баллов на 30 кгс/мм², предел прочности достигает 260 кгс/мм²); 2) критическое напряжение хрупкости увеличивается (при измельчении зерна от 8 до

15 баллов на 70 кгс/мм²); 3) снижается критическая температура хрупкости (при измельчении зерна от 8 до 15 баллов почти на 200° С); 4) уменьшается склонность к задержанному разрушению, что обеспечивает уменьшение склонности к образованию закалочных трещин; 5) увеличивается сопротивление распространению трещины при статических и ударных нагрузках; 6) уменьшается склонность к коррозии под напряжением; 7) несколько повышается твердость; 8) уменьшается склонность к проявлению необратимой отпускной хрупкости.

Для обеспечения оптимальных механических свойств глубина закалки должна обеспечивать, с одной стороны, создание на поверхности остаточных напряжений сжатия, увеличивающих сопротивление усталостным нагрузкам и распространению трещины, а с другой — достаточное сопротивление статическим нагрузкам. При увеличении глубины слоя остаточные напряжения сжатия уменьшаются и могут перейти в растягивающие. Но для повышения сопротивления изгибающим нагрузкам глубина слоя должна быть достаточно велика, чтобы рабочие напряжения, уменьшаясь по линейному закону от поверхности к сердцевине, не превысили предела текучести стали в подслое.

Чтобы избежать очень глубоких слоев, уменьшающих сжимающие остаточные напряжения, для тяжелонагруженных деталей необходимо применять либо предварительное улучшение стали, либо метод объемно-поверхностной закалки, упрочняющий сердцевину. При обычной глубине закаленного слоя (2—5 мм), составляющей 10—15% диаметра стержня, упрочненная сердцевина увеличивает статическую прочность детали при изгибе на 30—40%; остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое достигают 60 кгс/мм².

Имеющаяся при индукционной закалке возможность согласовать свойства отдельных участков детали с величиной и характером действующих там напряжений дополнительно повышает конструктивную прочность деталей. Например, при объемно-поверхностной закалке крестовины кардана твердость вдоль поверхности шипов неодинакова. В местах контакта с игольчатыми подшипниками она составляет более *HRC* 60 и обеспечивает высокое сопротивление контактным нагрузкам (бринелированию), а у основания шипов, где действуют только максимальные рабочие напряжения от статического и ударного изгиба, твердость значительно ниже *HRC* 52—54. Это обеспечивает более высокие вязкость опасного участка крестовины, сопротивление ударным и статическим нагрузкам крестовины в целом (табл. 8).

8. Механические свойства крестовины кардана автомобиля ЗИЛ-130

Марка стали и вид обработки	Статическая нагрузка при изгибе, кгс	Работа ударного разрушения, кгс·м	Момент, соответствующий пределу выносливости, кгс·м	Время до появления бринелирования на стенде, ч
Сталь 20ХГНТР, цементация, глубина слоя 1,3 мм	910	73	170	50
Сталь 58 (55ПП), объемно-поверхностная закалка	1000	124	Св. 236	70

Стали, применяемые для индукционной закалки. Существенных ограничений на номенклатуру сталей индукционный нагрев не накладывает. Обычно производят выбор для каждой детали наименее легированной стали, обеспечивающей при учете возможностей индукционной закалки достижение требуемых прочностных характеристик. Широко применяют углеродистые стали с содержанием 0,3—0,5% углерода, низколегированные стали типа 40Х (детали с предварительно улучшенной сердцевиной).

Для целей инструментального производства поверхностной закалке подвергают стали У8 и У10, У12. Индукционную закалку начинают использовать для упрочнения штамповых и цементованных сталей после химико-термической обработки. Специально для целей объемно-поверхностной закалки разработаны стали пониженной прокаливаемости типа 58 (55ПП).

Режимы нагрева под закалку. Наименьшие возможные температуры нагрева под закалку совпадают с температурой окончания образования аустенита (табл 7). Рекомендуемая верхняя граница температур закалки обусловлена необходимостью предотвращения структур перегрева с повышенными размерами зерна. Для обычных промышленных плавок интервал закалочных температур приведен в табл. 9.

9. Температура закалки при разных скоростях нагрева, °С

Марка стали	Скорость нагрева, °С/с		
	100	250	500
40	850—900	880—920	960—1020
50	810—850	830—880	900—960
40Х	830—880	860—920	950—1000
50Г	810—850	830—880	900—960
50ХГ	810—850	830—880	900—960
У8	780—820	780—850	820—920
У12	780—820	780—850	820—920

Верхняя температура закалки сталей, имеющих мелкое устойчивое зерно (12 баллов), может быть поднята на 80—100° С.

При обычных для объемно-поверхностной закалки скоростях нагрева 3—10° С/с температура нагрева стали 58 (55ПП) составляет 820—900 С° при условии уменьшения размера устойчивого зерна за счет режимов штамповки.

Режимы охлаждения при закалке. При подаче воды на деталь под давлением душевым способом или потоком в поверхностных слоях закаливаемой детали возникают высокие скорости охлаждения, превышающие в интервале 700—500° С критические скорости охлаждения углеродистых сталей (50—200° С/с) и сталей пониженной прокаливаемости (300—200° С/с) (табл. 10).

Такие скорости предотвращают отпуск в процессе закалки. После охлаждения достигаются максимально возможные для данной стали значения твердости.

10. Скорость охлаждения при индукционной закалке в различных интервалах температур, °С/с

Охлаждение	Скорость подачи воды, м/с	Интервал температур, °С		
		700—500	300—200	200—150
Водяной душ	8,7	17 000	385	110
Поток	10	2 300	660	130

Высокие скорости охлаждения уменьшают склонность стали к образованию трещин. По данным исследований, наименьшая склонность к образованию трещин имеет место не только при очень медленном охлаждении (в масло), когда происходит значительный отпуск в процессе закалки, но и при очень высоких скоростях охлаждения в интервале 300—150° С (табл. 10). В этом случае мартенситное превращение происходит практически одновременно по всем элементам детали сложной конфигурации, не создавая в концентраторах условий для возникновения растягивающих напряжений.

11. Дефекты, возникающие при индукционной закалке

Дефекты	Причины	Меры предупреждения
Недостаточная твердость поверхности (в том числе мягкие пятна)	Недогрев при закалке	Повысить температуру нагрева под закалку
	Наличие обезуглероженного слоя на поверхности детали	Ввести больший допуск на предварительную механическую обработку детали
	Малая скорость или время охлаждения	Увеличить подачу охлаждающей среды
	Неравномерное охлаждение (забиты отверстия спрейера)	Прочистить спрейер
	Прижог при последующем шлифовании	Уменьшить подачу и улучшить охлаждение при шлифовании

Продолжение табл. 11

Дефекты	Причины	Меры предупреждения
Закалочные трещины	Нагрев до очень высоких температур	Уменьшить температуру и время нагрева
	Повышенная глубина закалки	
	Низкая скорость охлаждения	Увеличить подачу охлаждающей среды, применить охлаждение по потоком
	Отсутствие отпуска или самоотпуска	Отрегулировать режим самоотпуска
Несоответствие глубины и ширины закаленного слоя требованиям чертежа	Неравномерный зазор между деталью и индуктором	Сообщить вращение детали
	Просачивание воды на деталь при нагреве	Устранить течь
	Недостаточная мощность или время нагрева	Увеличить мощность или время нагрева

Отпуск после поверхностной закалки производят в соответствии с требованиями к твердости детали. В общем случае повышение сопротивления хрупкому разрушению, имеющее место при поверхностной закалке, позволяет применять более низкий отпуск, чем после обычной печной закалки. Многие детали после поверхностной закалки подвергают самоотпуску, осуществляемому за счет внутреннего тепла, остающегося в сердцевине детали после нагрева и дозированного охлаждения при закалке. Время охлаждения выбирают таким, чтобы после охлаждения поверхность нагрелась до требуемой температуры. Для получения заданной твердости температура нагрева при самоотпуске должна быть на 70—100° С выше температуры при отпуске в печи.

За счет неравномерного по длине детали самоотпуска можно добиться требуемого для неравномерно нагруженной детали распределения твердости и других свойств, обеспечивающих оптимальную конструктивную прочность.

Дефекты, возникающие при индукционной закалке, приведены в табл. 11.

А

Автоматизация — Средства — см. *Средства автоматизации*
— Экономическая эффективность — см *Эффективность автоматизации*
Автоматизация комплексная 9
— — полная 9
— — программирования инженерных задач 122—137
— — проектирования — Математическое обеспечение 117
— — технологической подготовки производства — Экономическая эффективность 129—137
— — транспорта — Назначение 214 — Способы 214—234 — Сущность 214
— — частичная 9
Автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП) — Схема рабочего процесса 110, 111, 113
Автоматизированная транспортно-складская система (АТСС) — Назначение 475, 476
— Работа 476
Автоматическое оборудование для сборки агрегатное — Назначение 590 — Типовая компоновочная схема 592 — Типовые *узлы* 591
— — комбинированное — Назначение 592 — Пример 592, 593
Автоматы агрегатные — Конструктивные разновидности 494
— Понятие 494
— Принцип работы 494
Автоматы для сборки контрольно-сортировочные — Применение 596 — Примеры 596—598
— — многошпиндельные 588
— — однопозиционные — Применение 588 — Принципиальная схема 588
— — роторные — Понятие 589 — Пример 590
Автоматы контрольные — Виды 411, 412
— Конструкции 412, 416
— Первичные преобразователи 413, 415
Автоматы многошпиндельные — План и карта обработки детали 449—451
— Порядок настройки и наладки 441, 442
— Схема *обработки детали* 447, 448
— Формулы для расчета 443, 444
Автоматы токарно-револьверные — План и карта обработки головки 435—437
— Применение 434
— Пример обработки 438—441
— Принцип работы 436, 440
— Резцы 434, 438
— Формулы для расчета 439—441
Автоматы токарные — Классификация 432 — *Методы обработки* деталей 433 — Применение 431 — Принцип работы 431
— — гидрофицированные 453
Автопоиск 571
Адаптивные системы — см *Системы самоприспосабливающиеся*
Алгоритмический язык 122
Арретирование 400
Аустенит 606—608

Б

Безотказность 530
Бункера 265
Бункерные устройства — см *Бункера, Механизмы ориентации*
Бухгалтерский учет 49

В

Вариатор механический лобовой 210
— — с раздвижными конусными дисками 210
— — фрикционный 210, 211
Вероятность безотказной работы 12
Взаимозаменяемость неполная 564
— — полная 564
Вибратор дебалансный 229
— — пневматический 229
— — электромагнитный 229
Вибробункера — Конструкции 287,
— Преимущества 287
— Принцип работы 287
— Размеры предбункеров 292
— Способы ориентации заготовок 294—298
— Устройство для ориентации 293
— Чаши 293

Вибробункера со спиральным лотком — Конструкции 288—290
— Формулы для расчета 290—292
Вибролотки 569
Время восстановления 531

Г

Гаусса закон 20, 22
Генератор-детектор 385
Генераторы 604 — Самосинхронизация 205 — Синхронизация 205
— — ламповые — Применение 602 — Характеристики 603
— — машинные — Применение 602 — Технические данные 602
Гидроусилители — Применение 458 — Характеристики 459
ГОСТ 5 1176—71 414
14 304—73 15
14 305—73 15
14 306—73 15
43—73 422
44—72 422
122—54 420
2789—73 20
3899—68 143, **413, 414**
5651—76 413
7599—73 421
8303—76 184
10600—74 422
10860—68 184
11703—66* 414
12110—72 422
13052—74* 461
13097—70 422
13135—72 422
13377—75 530, **531**
14755—74 422
14756—69 422
15824—70 301
16025—70 422
18101—72 422
18108—72* 422
18196—72 422
19468—74 494
20796—75 292
21016—75 414, **415**
Гребенки 230

Д

Датчики индуктивные — Преимущества 146 — Принцип действия 146 — Характеристики 146
— — дифференциальные — Конструкции 147, 149
— — простые — Конструкции 146, 147
— — соленоидного типа — Конструкции 147, 148
— — трансформаторного типа — Конструкции 147, 148
— — электроемкостные — Принцип действия 148
Датчики информации внешней — Применение 347 — Примеры 345, 346 — Характеристики 344
— — внутренней — Применение 347 — Характеристики 343
Датчики пневматические — Конструкция 151 — Недостатки 155 — Преимущества 155 — Применение 150, 152, 153
— — компенсационные — Принцип действия 154, 155
Датчики пневмоэлектрические — Конструкции 152
Датчики пневмоэлектроконтактные 153
Датчики проволочные 148
Датчики путевые 187 — Принцип действия 139
— — гидравлические — Конструкция 141
— — электрические — Конструкция 139—141 — Недостатки 139, 140
Датчики размерные — Назначение 141
— — механические 142, 144
— — электрические 142
Датчики фотоэлектрические — Принцип действия 148, 149 — Характеристики 149
— — с лазерами 150
Датчики электроконтактные 201 — Преимущества 142 — Применение 143 — Схемы 145
— — амплитудные 146
— — безрычажные 143
— — предельные 144—146
— — рычажные 143
Двигатели гидравлические — Синхронизация работы 205, 206
— — шаговые — Преимущества 458 — Применение 458
— — электрические — Применение 200 — Регулирование частоты вращения ротора 206—211 — Торможение 204
Деление автоматическое — Приспособления 212, 213
— — линейное 211
— — угловое 211
Демпфирующее устройство 399
Джонсона задача 61
Документация технологическая 15
Долговечность 530
Дроссель путевой 204

З

Заготовки — Ориентирование — см *Ориентирование заготовок*
Закалка индукционная — Выбор частоты тока и мощности генератора 601, 602
— Дефекты 613
— Индукторы 603
— Источники переменного тока 603
— Конденсаторы 604
— Особенности нагрева 601
— Особенности фазовых превращений 606—609
— Отпуск 612

— Режимы нагрев. 611
— Режимы охлаждения 611 612
— Система охлаждения 605
— Системы автоматического управления циклом 605
— Способы 600
— Стали 611
— Стачки 605, 606
— Трансформаторы 603, 604
Захваты питателей вакуумные 326—328
— — зажимающие заготовки 321—325
— — клещевые 321, 322, 328
— — магнитные 328
— — не зажимающие заготовки 320

И

Игра 53
Индикаторы — см *Микромеры*
Индукторы — 603
Информационное обеспечение 110
Информация окружающей среды 10
— — планирования 11
— — приведенных затрат 11
— — программы 9
— — производительности 11
— — процесса обработки 9, 10
— — точности 10, 11
— — эксплуатации 11

К

Капитальные вложения — Коэффициент эффективности 23
— Определение 26—30
— Срок окупаемости 23
Классификаторы 568
Команда эффект 158, 159
Командоаппарат программируемый 527, 528
Конвейер вибрационный 228, 229
— — винтовой 223, 224
— — гребенчатый 230
— — двухвалковый 226, 227
— — ленточный 220
— — одноленточный 222, 223
— — перекладывающий планочные конвейеры 229, 230
— — переносящий 230
— — пилообразный 230
— — пневматический принудительный 228
Конвейер полусамотечный механический — Применение 220 — Принцип действия 219, 220
— — пневматический — Применение 220 — Принцип действия 220
Конвейер прокатный 221, 222
— — проталкивающий 230
Конвейер-распределитель 223
Конвейер ролико-приводной 224—226
— — ролико-цепной 220, 221
— — штанговый 230, 231
— — челночный 231, 232
Конденсаторы 604
Контроль — Автоматизация 381 — Механизация 381
— — автоматический 381
— — активный — Средства — см. *Средства активного контроля*
— — межоперационный 574
— — полуавтоматический 381
Копирование кинематическое 418
— — по программе 419
— — по шаблону 418
— — профиля инструмента 418
— — профиля направляющих 418
Коэффициент готовности АЛ 532, 536
— — жесткосблокированный — Оценка 537,
— — однопоточной многоучастковой — Оценка 541, 542
— — однопоточной, разделенной на два участка — Оценка 540, 541, 543
— — однопоточной, разделенной на участки накопителями — Оценка 540
— — с гибкой связью — Оценка 547
— — состоящей из одинаковых независимых потоков, обслуживаемых наладчиками — Оценка 544—547
Коэффициент загрузки АЛ 534
— — оборудования 25
Коэффициент использования поля допуска 550
— — станка эксплуатационный 441
— — технического АЛ 529, 532
Коэффициент комплексности технического процесса 549
— — наложения потерь 540
— — приведения 25
— — сравнительной производительности 26
— — эквивалентности — см. *Коэффициент приведения*
— — эксплуатации АЛ 534
Критерий аддитивный 120
— — дизъюнктивный 120
— — конъюнктивный 120
— — мультипликативный 120

Л

Лазер — Применение 150
— — газовый 150
Линии автоматические — Вспомогательные устройства 165, 166
— Классификация 498, 501
— Классификация систем управления 524, 525
— Компоновки 501—516
— Коэффициент готовности 79—83, 536—547
— Надежность 530—536
— Назначение 498
— Номинальная производительность 528—529
— Оптимальная производительность 518—520

— Особенности выбора режимов 519, 520
— Оценка технического уровня 547—550
— Понятие 498
— Преимущества 68
— Проектная производительность 529
— Производительность 528
— Режимы работы 525
— Системы управления с использованием вычислительной техники 525—528
— Технологическая производительность 529
— Точность обработки 517, 518
— Требования к технологическим процессам 516—518
Линии автоматизированные 500
Линии автоматические автоматизированные 500
— — ветвящиеся 499
— — для обработки валов 507—510
— — для обработки зубчатых колес 513, 514
— — для обработки корпусов 504—506
— — для обработки фланцев и дисков 511, 512
— — для сборки 586, 593, 595, 596
— — комплексные 499
— — многопоточные 71, 83—85, 88—110
— — несинхронные 498
— — несквозные 499
— — переналаживаемые 499
— — роторные 499
— — синхронные 498
— — сквозные 498
— — с нерегламентированным адресованием 499
— — спутниковые 498
— — с регламентированным адресованием 499
Линии полуавтоматические для сборки изделий 586, 587, 593, 594
— — технологические 61—66
Лотки змейковые 252, 253
Лотки пазовые — Назначение 250 — Формулы для расчета 251
— — вертикальные — Схемы 250
Лотки пневматические — Применение 257 — Формулы для расчета 260, 261
— — принудительные — см. *Устройства магазинно-транспортные* 261
— — рельсовые — Применение 249 — Схема 249 — Формулы для расчета 249, 250
— — роликовые — Применение 251 — Схема 252 — Форма роликов 252 — Формулы для расчета 251
Лотки-скаты — Формулы для расчета 248, 249
Лотки-склизы 238 — Геометрические параметры 241—243
— Расчет пропускной способности 238
— Формулы для расчета зазоров 242—244
Лотки спиральные — Формулы для расчета 253

М

Магазины-накопители 264
Магазины полусамотечные — Принцип работы 256
— — механические — Конструкции 257 — Параметры 257 — Применение 256 — Схемы 256 — Формулы для расчета 258, 259
Магазины стержневые — Принципиальные схемы 255 — Формулы для расчета 255, 256
— — трубчатые — Виды 253 — Формулы для расчета 253, 254
— — шахтные — Принципиальные схемы 255 — Формулы для расчета 255, 256
Мальтийские механизмы — Применение 577
— Расчет 312—314
Манипуляторы 334
Математическая модель 51, 52, 54, 55, 69 70
Математическое ожидание 51
Матрица 53
Метод «ветвей и границ» 62
— — «растушевки» 600
Механизация 8
Механизмы включения и выключения 200 — Применение в металлорежущих станках 200—203
— Принцип действия 200
— Электродвигатели 200, 201
Механизмы ориентации 265—278
— — барабанные лопастные 276, 277
— — вибрационные — см. *Вибробункера*
— — дисковые карманчиковые 283—286
— — дисковые щелевые 274
— — карманчиковые 283
— — крючковые 280—282
— — лопастные 274, 275
— — поштучной 298, 299
— — секторные 278—281
— — с трубками 267, 273
— — фрикционные дисковые 274
— — шиберные 278, 279
— — элеваторные 277, 278
Механизмы храповые 309, 310
Микромеры 142, 144
Модели операционные 120
— — управления запасами 57—60
Моделирование операционное 117, 120
— — ситуационное 117

Н

Надежность 530
Накопители — см. *Лотки затковые*

Наработка 531
— — на отказ 531
Нормирование ресурсов 48

О

Обеспечение АСУП 49
— — информационное — см. *Информационное обеспечение*
— — производства 48, 49
Операция — Показатель эффективности 51 — Понятие 51
— — технологическая 8
Ориентирование заготовок автоматическое 266
ОСТ 2Н23 — 70, 457
Отказы — Вероятность 12
— Интенсивность 12

П

Параметр потока 531
Переход 8
Печатные схемы 158
Питатели — Захваты — см. *Захваты питателей*
— Применение 298
— Проектирование 301
— Схемы 299
— Точность работы 300
Питатели комбинированные 315—317, 571
— — маятниковые 307, 308
— — револьверные 307, 308
— — шиберные 301—307, 332
Планирование календарное 62, 63
— — оперативно-производственное 47
— — технико-экономическое 47
Пневматические мембранные устройства (УСППА) 156—158
Пневмоника 158
Подачи автоматические для листа 331
— — валковые 329
— — клещевые 330
— — револьверные 331, 332
— — ролико-клиновые 329
Подналадчики 383
Подъемники 234
— — вибрационные 232, 233
— — толкающие 232, 233
— — цепные 232, 233
Позиционер 400
Позиция 8
Полуавтоматы агрегатные — Выполняемые операции 494, 497 — Конструктивные разновидности 494—496
Полуавтоматы для сборки изделий многопозиционные 588, 589
— — однопозиционные 588
Полуавтоматы многошпиндельные — План и карта обработки детали 452 — Схемы обработки деталей 444—447
— — токарные — Классификация 432 — Метод превращения в автоматы токарные 434 — Методы обработки деталей 433 — Применение 431
Прессы холодной штамповки — Механизмы подач 328—332
Приводы 185, 186
—, — гидравлические 211
— — с шаговым двигателем и гидравлическим усилителем мощности 186
— — тиристорные 187
— — шаговые 458, 459
— — электрические 207, 209
— — электрогидравлические 186
Призмы измерительные 391, 498
Приспособления контрольные 416
Пробка пневматическая 390, 391
Программирование линейное — Симплекс-метод 55—57 — Система линейных уравнений 53—55
Производство — Типы 9
Производящая функция 12, 13
Процесс технологический — Оптимизация 51—53 — Понятие 8
— — автоматизированный — Выбор 15—22 — Классификация 18 — Предварительное проектирование 14 — Примеры 19
Процессор 527

Р

Резервирование 13
Реле времени 162
— — пневматическое шариковое 156, 157
Реле электрическое магнитоэлектрическое — Принцип действия 162
— — моторное — см *Реле времени*
— — поляризованное — Конструкция 161 — Принцип действия 161, 162
— — электромагнитное — Конструкция 160, 161 — Эксплуатационные данные 161
— — электронное — Классификация 162
Ремонтопригодность 530
Рифление 438
Роботы промышленные — Захватные устройства 341, 342
— Информационные системы 335—337
— Классификация 336, 337
— Основные компоновки 338, 339
— Подготовка производства к применению 376—379
— Показатели и элементы конструкции 338—340
— Понятие 334
— Применение 364—375, 598
— Системы управления 334, 340, 343, 347
— Структурная схема 335
— Технические данные 348—355

С

Самоприспосабливающиеся системы — см *Системы самоприспосабливающиеся*
Сборка — Автоматическое оборудование — см. *Автоматическое оборудование для сборки*
— Автоматы — см *Автоматы для сборки*
Сборка автоматическая — Базирование деталей 577—579
— Вспомогательные операции 568
— Выбор рациональной жесткости технологической системы 584
— Загрузка деталей 568—571
— Закрепление сборочных элементов 573, 574
— Контроль комплектности и качества сборочных единиц 574
— Методы 564
— Оборудование 586—598
— Оптимизация технологических процессов 566, 567
— Основные операции 568
— Относительное ориентирование сборочных элементов 571, 572
— Погрешности относительного ориентирования деталей 577—583
— Построение технологического процесса 562
— Силы, возникающие при соединении деталей 583, 584
— Сопряжение сборочных элементов с заданной точностью 572, 573
— Технологичность конструкции 562—564
— Типовые технологические процессы 565, 566, 568
— Транспортирование объекта сборки на позиции автомата и съем изделия 574—576
— Условия собираемости 583
Сборка автоматическая селективная — Применение 564 — Сущность 564, 565 — Схема контрольно-сортировочного автомата 565
— — с применением адаптивных систем 585
— — с применением компенсаторов 565
Сборочные единицы — Классификация 566
Сборочные линии с непрерывным перемещением собираемого объекта 596, 597
Себестоимость продукции — Снижение 23
Синхроноскопы 205
Системы автоматизированного программирования — Применение 198
Программы-алгоритмы 198
Системы автоматизированные — Конструктивное исполнение 556—561
— Назначение 552
— Оптимальные условия работы 553—556
— Секционное построение 554—556
— Системы программно-математического обеспечения 552
— Структура 552
Системы автоматического контроля 11
Системы автоматического управления — Автоматическое деление 211—213
— Включение и выключение 200—204
— Регулирование частот вращения 206—211
— Торможение и синхронизация 204—206
Системы адаптивные — см *Системы самоприспосабливающиеся*
Системы нечислового программного управления — Понятие 169 — Принцип действия 170
— — временные 169
— — комбинированные 169, 170
— — кулачковые 169, 170
— — путевые 169
Системы программно-математического обеспечения (СПМО) 552, 553
Системы самоприспосабливающиеся — Оптимизация управления 487 — Применение 487, 561, 585
— Примеры использования 491—493
— Принципы работы 487
Системы самоприспосабливающиеся с регулированием оптимальным 488
— — предельным 488
Системы технологической подготовки производства (СТПП) 553
Системы управления — Классификация 169—171
— Назначение 168
— Понятие 167
— Структура 167, 168
— Характеристики 168
Системы управления автоматизированные (АСУ) — Назначение 46 — Понятие 46 — Преимущества 46
— — предприятием (АСУП) — Обеспечивающие подсистемы 49 — Понятие 46 — Преимущества 46, 47 — Функциональные подсистемы 47
Системы управления замкнутые 170, 171
— — комбинированные 170
— — многоинформационные 477—479
— — путевого 171, 172
— — разомкнутые 170
Системы управления от копиров (КСУ) — Классификация 174, 176, 177 — Назначение 174 — Принцип действия 174 — Расчет, построение и изготовление копиров 179, 189

Системы управления от копиров гидравлические 177, 178
— — комбинированные 178
— — непрямого действия 178
— — прямого действия 174
— — с золотниками 177, 178
— — электрические 178, 179
Системы управления от кулачков — Командоаппараты 172 — Принцип действия 172 — Программирование 172—174 — Функциональные схемы 173
— — с распределительным валом (СУРВ) 172
Системы циклового программного управления (ЦПУ) — Блок-схема 180, 181
— Классификация 180
— Основные характеристики 488
— Понятие 169
— Преимущества 480
— Применение 480
— Принцип действия 170
— Программирование обработки на станках с ЦПУ 183, 184
— Функциональная схема 480, 486
Системы числового программного управления (ЧПУ) — Виды 462, 463
— Выполняемые операции 456
— Классификация 188, 455, 456, 458
— Методы измерения 458
— Понятие 169
— Преимущества 184
— Принцип действия 170, 184, 185, 455
— Программирование обработки на станках с ЧПУ 197—199
— Системы кодирования 460, 43
— Типовые схемы 184, 185
— Технологические возможности 455
— Увеличение точности обработки 456, 457
— Форма программ 458
— Элементы 456, 458
Системы числового программного управления комбинированные 191, 192, 190—192, 194
— — контурные 190—192, 194
— — многоотсчетные 196
— — позиционные 188—191
— — прямого управления 197
— — прямоугольные 190
— — с абсолютным отсчетом 193
— — самоприспосабливающиеся 195, 196
— — с комбинированным отсчетом 194
— — с магнитной лентой 192, 193
— — с относительным отсчетом 194
— — с переменной структурой 196, 197
— — с постоянной структурой 196, 197
Скобы двухконтактные 386
— — навесные 386, 390
— — трехконтактные 386, 390
Сопло эжекторное 155
Сортировочные устройства 596—698
Спуски винтовые 218, 219
— — зигзагообразные 219
— — змейковые 214, 215
— — прямые 217, 218
— — ступенчатые 215
— — цепные 215, 217
Средства автоматизации 138
Средства активного контроля — Преимущества 410
— — при обработке на внутришлифовальных станках 401—405
— — при обработке на круглошлифовальных станках 386—401
— — при обработке на плоскошлифовальных станках 405—411
Станки автоматизированные — Жесткость 422
— Испытания 421, 422
— Контроль 421, 422
— Методы повышения производительности 419—421
— Монтаж 425
— Понятие 418
— Смазочно-охлаждающие жидкости 420
— Средняя точность 424
— Теоретическая производительность 419
— Транспортеры для удаления стружки 421
— Фактическая производительность 419
— Штучная производительность 419
— Штучное время 419
Станки-комбайны с системами ЧПУ 474—476
Станки специализированные 36—44
— — специальные 36—44
Станки с системами ЦПУ — Перечень 482 — Условия рациональной эксплуатации 487
— — токарные 481, 486
— — фрезерные 481, 483, 485
Станки с системами ЧПУ — Особенности 454 — Преимущества 24, 454, 455 — Расчет эффективности 24—36 — Точность автоматического позиционирования 454
— — сверлильные 473, 474
— — фрезерные 463—473
Стенды 165
Стоимость здания под оборудование 27
— — оборудования балансовая 27
— — приспособления 28
— — служебно-бытовых объектов 27
Струйная техника — Применение 159, 160
— Принцип действия 158
— Струйные элементы с прилипанием струи 158, 159
Струйно-мембранные устройства 160
Суппорт гидрокопировальный 178

Т

Таблица решений 117, 118
— — характеристическая 118, 119
Такт 14
Тензодатчики — см. *Датчики проволочные*
Теория расписаний 61
Техника струйная — см. *Струйная техника*
Технологическая линия — см. *Линия технологическая*
Технологический модуль 364
Тиристорные возбудители — Технические характеристики 605
Тормоз электромагнитный 204, 205
Транспорт — Автоматизация — см. *Автоматизация транспорта*
Транспортирование полусамоточное — Конвейеры 219, 220 — Принцип 214, 219
Транспортирование принудительное — Конвейеры 220—232 — Принцип 214
— — непрерывное 220—229
— — прерывистое 229—232
Транспортирование самотечное — Параметры и конечные скорости качения изделий 216
— Предельные скорости 214, 215
— Принцип 214
— Спуски 214—219
Транспортные системы сборочных машин 574—576
Трансформаторы повышенной частоты — Выбор 603
ТУ 2-034-42—74 413
2-034-74—70 415
38 420
38-1-228—69 420
38-10-197—72 420
38-10-247—73 420

У

Управляющие программы 28, 89
Усилители гидравлические 164, 165
— — дифференциальные 384
— — магнитные 163, 164
— — механические 165
— — пневматические 165
— — полупроводниковые 164
— — электрические 163
— — электромашинные 164, 165
— — электронные 164
Установ 8
Устройства загрузочные 236
Устройства магазинно-транспортные винтовые 261
— — пилообразные 262—264
Устройства магазинные 235—264
— — наматывающие 331
— — разматывающие 331
— — транспортные 256
Устройства отчетно-командные индуктивные 384—386
— — пневматические 382—384

Ф

Формализованный аппарат геометрических построений — Назначение 122
— — ФАП-КФ1 — Геометрические выражения 124, 125 — Геометрические операторы 124, 126, 127 — Геометрические переменные 123 — Массивы геометрических значений 123 — Операторы присвоения геометрических значений 124 — Проблемный словарь 123
Фотоэлемент 148, 149

Х

Ход вспомогательный 8
— — рабочий 8

Ц

Циклограмма 174

Ш

Шаговый механизм 577
Шлифование врезное 498—499
— — сопряженное 392
Штабелер 557

Э

Экономический эффект 24, 131, 134, 135
Эффективность автоматизации 23, 24

А

Абразивная доводка деталей — см. *Доводка поверхностей*
Абразивная обработка 4.7
Абразивно-электрохимическая обработка — см. *Обработка абразивно-электрохимическая*
Абразивные дробленые материалы для шлифовальных шкурок 4.187
Абразивные круги
— Дисбаланс 4.16, 25
— Испытание 4.25
— Контроль 4.25
— Крепление 4.25, 26
— Правка 4.41
— Применение 4.17
— Размеры 4.16
— Скорость 4.16
— Структура 4.9, 13
— Форма 4.16, 75
Абразивные ленты 4.98
Абразивные материалы 4.7
— Зернистость 4.7, 11
— Марки 4.10
— Применение 4.8, 10
— Характеристики 4.8
Абразивные пасты 4.24, 114, 115, 116
Абразивные шкурки 4.16, 22—25, 186, 187
Абразивный инструмент 4.7
— Дисбаланс 4.16
— Зернистость 4.7
— Испытание 4.25
— Класс 4.14
— Контроль 4.25
— Крепление 4.25
— Маркировка 4.7, 12, 15
— Материалы — см. *Абразивные материалы*
— Правка 4.41
— Применение 4.15, 17
— Размеры 4.16, 17
— Связка 4.14, 15
— Структура 4.13, 14
— Твердость 4.7, 12; — контроль 4.25
— Форма 4.16, 17
Автоколлиматоры 4.651
Автоматизация — средства — см. *Средства автоматизации*
— Экономическая эффективность — см *Эффективность автоматизации*
Автоматизация комплексная 5.9
— — контроля — Системы и элементы 4.626
— — полная 5.9
— — программирования инженерных задач 5.122—137
— — проектирования — Математическое обеспечение 5.117
— — сборочных работ 4.249 — Компоновка оборудования 4.250 — Разработка технологического процесса 4.250
— — технологической подготовки производства — Экономическая эффективность 5.129—137
— — транспорта — Назначение 5.214 — Способы 5.214—234 — Сущность 5.214
— — частичная 5.9
Автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП) — Схема рабочего процесса 5.110, 111, 113
Автоматизированная транспортно-складская система (АТСС) — Назначение 5.475, 476
— Работа 5.476
Автоматическое оборудование для сборки агрегатное — Назначение 5.590 — Типовая компоновочная схема 5.592 — Типовые узлы 5.591
— — комбинированное назначение 5.592 — Пример 5.592, 593
Автоматы агрегатные — Конструктивные разновидности 5.494 — Понятие 5.494
— — для сборки контрольно-сортировочные — Применение 5.596 — Примеры 5.596—598
— — контрольные — Виды 5.411, 414 — Конструкции 5.412, 418 — Первичные преобразователи 5.413—415
— — многошпиндельные — План и карта обработки детали 5.449—451 — Порядок настройки и наладки 5.441, 442 — Схема обработки де-

* Данный указатель отражает материалы всего справочника. Полужирным шрифтом указан номер тома.

тали 5.447, 548 — Формулы для расчета 5.443, 444
— — однопозиционные — Применение 5.588 — Принципиальная схема 5.588
— — роторные — Понятие 5.589 — Пример 5.590
— — токарно-револьверные — План и карта обработки головки 5.435—437 — Применение. 5.434. — Пример обработки 5.438—441 — Принцип работы 5.434, 438 — Резцы 5.434, 438 — Формулы для расчета 5.439—441
— — токарные — Классификация 5.432 — Методы обработки деталей 5.433 — Применение 5.431 — Принцип работы 5.431
— — токарные гидрофицированные 5.452, 453
Автопоиск 5.571
Адаптивные системы — см. *Системы самоприспосабливающиеся*
Азотирование стали — Свойства азотированных изделий 2.348—352 — Строение азотированного слоя 2.338, 339
— — в тлеющем разряде (ионное) 2.347, 348
— — газовое 2.341—347
— — жидкое 2.352—356
— — интенсивностареющей 2.226
— — с добавками углеродосодержащих газов 2.356
Азотонауглероживание — см. *Нитроцементация высокотемпературная, цианирование высокотемпературное*
Активный контроль — Системы комплексные 4.630 — Средства 4.627, 636
Алгоритмический язык 5.122
Алитирование 2.563, 564, 572 — Методы, характеристики 2.364 — см. также *Обработка химико-термическая металлов для защиты от окисления*
Алкатрон 1.139
Алмаз 4.8, 31
— — естественный 4.44
— — огранный 4.42, 44
Алмазная гребенка 4.42, 44
Алмазно-металлические карандаши 4.42, 43
Алмазные круги 4.32, — см также *Микропорошки, Шлифпорошки*
— Зернистость 4.38
— Концентрация 4.40
— Маркировка 4.32
— Правка 4.48
— Применение 4.33, 39
— Связка 4.38
Алмазные ролики 4.47
Алюминий — Марки, состав 2.464
Алюминирование — см. *Алитирование*
Алюмоборирование 2.575, см. также *Обработка химико-термическая металлов для защиты от окисления*
Амплитрон 1.139
Амплитуда напряжений цикла 2.23
Анодно-механическая обработка — см *Обработка анодно-механическая*
Армирование пластмассы 3.108—110
Армирующие волокна — см *Волокна армирующие*
Арретирование 5.404
Артатрон 5.139
Артрон 5.140
Аустенит 2.67, 72, 155, 311; 5.606—610 — Виды зерна 2.295, 296, 298 — Распад 2.306—309

Б

Баббиты 2.407
— — кальциевые 2.407—409
— — оловянные 2.407—409
— — свинцовые 2.407—409
База 4.475
Базирование деталей — Примеры нанесения знаков на чертежах 4.380
Базирующая поверхность 4.475; см. также *Погрешности базирования*
Балансирные подвески 4.234
Балки постоянного сечения — Расчетные данные 1.210—213
Бареттер 1.140
Бейнит 2.72, 308, 309
Безотказность 5.532
Бийкс 1.140
Бидематрон 1.140
Бинистор — см. *Тиристор*
Битермитрон 1.140
Блок полупроводниковый, выпрямительный 1.140
— — расточной 3.297—299 — Конструкции резцов 3.304 — Размеры 3.304
Болометр 1.140
Болт — Предельные отклонения диаметров резьбы 1.322—329 — Схема расположения полей допусков 1.335
— — статически нагруженный — Расчет 1.288—293
— — с шестигранной головкой — Размеры 1.295—299
— — с шестигранной уменьшенной головкой — Размеры 1.300—302
— — циклически нагруженные — Расчет 1.293—294
Борирование 2.361—363 — Виды, методы, характеристики 2.362
Борнапильники — Размеры 4.176—Частота вращения 4.177
Бороволокниты 2.593, 594 — см. также *Материалы композиционные волокнистые*
Борштанги 3.308—310
Бронзы 2.431 — Классификация 2.431 — Маркировка 2.431 — Полуфабрикаты 2.433, 440

— — безоловянные 2.431, 433 — Марки, назначение, состав 2.434, 436 — Характеристики свойств 2.438, 439
— — оловянные 2.431 — Марки, назначение, состав 2.432, 435 — Характеристики свойств 2.437
Брус — Виды нагружения 1.174—175 — Внутренние силовые факторы 1.174, 175 — Изгиб продольно-поперечный 1.253—254 — Перемещения 1.214—216 — Понятие 1.173
— — круглого сечения 1.199, 200 — Изгиб 1.234 — Кручение 1.233
— — некруглого сечения 1.200, 206, 207
— — прямой — Внецентренное растяжение (сжатие) — 1.223—224 — Изгиб 1.207—209 — Косой изгиб 1.220—223 — Кручение 1.198—207 — Моменты сопротивления 1.201—206 — Растяжение 1.195 — Расчет на прочность 1.196, 206, 207, 209 — Характеристики жесткости 1.201—206
— — прямоугольного сечения — Изгиб 1.236 — Критическая нагрузка 1.248, 249 — Кручение 1.234 — Устойчивость 1.247—249
Брус кривой большой кривизны — Понятие 1.231 — Расчет 1.231, 232
— — малой кривизны — Понятие 1.232
Бруски хонинговальные 4.83 — Выбор зернистости 4.87 — Типовые формы 4.88
— — шлифовальные 4.21, 48
Бункера 5.265
Бункерные устройства — см. *Бункера, механизмы ориентации*
Бухгалтерский учет 5.49

В

Вал — Конструкции 1.355—357
— Назначение 1.355
— Наибольшие допускаемые смещения и перекосы осей 1.450
— Определение реакций 1.361—364
— Поверочный расчет 1.364—369
— Построение эпюр изгибающих моментов 1.361—362
— Применение 1.355
— Проверка на виброустойчивость 1.271
— Расчет на жесткость 1.371
— Расчет на статическую прочность 1.369—371
— Сборка узлов 1.355 — Условный расчет 1.360, 361
Вал гибкий — Конструкция 1.371, 372 — Применение 1.371—372
— — с коническими концами 1.358
— — с цилиндрическими концами 1.359
Валиковая проба 2.45, 46
Варактор 1.140
Вариатор клиноременный
— Диапазон регулирования 1.541, 542
— Основные параметры 1.542—544
— Преимущества 1.540
— Схема перемещения ремня при регулировании 1.541
— Типы 1.540, 544—546
Вариатор механический лобовой 5.210
— — с раздвижными конусными дисками 5.210
— — фрикционный 5.210, 211
Варикан 1.140
Вариконд 1.140
Варистор 1.140
Вентиль 1.140
— — ионный самоподогревного типа 1.141
— — ртутный 1.141
Вероятность безотказной работы 5.12
Взаимозаменяемость неполная 5.566
— — полная 5.556
Вибратор дебалансный 5.229
— — пневматический 5.229
— — электромагнитный 5.229
Вибробункера — Конструкции 5.287 — Преимущества 5.287 — Принцип работы 5.287 — Размеры предбункеров 5.292 — Способы ориентации заготовок 5.294—298 — Устройство для ориентации 5.293 — Чаши 5.293
— — со спиральным лотком — Конструкции 5.288—290 — Формулы для расчета 5.290—292
Виброизмерительная аппаратура — Технические характеристики 4.346
Виброобработка поверхностей — Режимы 4.162
Вибролотки 5.571
Видекон 1.141
Винты с полукруглой головкой — Размеры 1.303
— — с потайной головкой — Размеры 1.304
Вискеризация 2.591
Витрод 1.141
«Водородная болезнь» 2.418, 463
Воздухоподогревательная аппаратура 4.234
Волокна армирующие 2.583, 585, 586
Вольтметры электронные — Преимущества 1.171 — Применение 1.171 — Технические характеристики 1.171
Вольфрам — Взаимодействие с различными средами 2.559
— Назначение 2.561
— Получение 2.558

— Характеристики свойств 2.559, 560
Время восстановления 5.531
Вскипание жидкости — Понятие 1.61
Вставки резьбовые 4.655
Втулки гофрированные 4.447
— — из полиамидных материалов — Конструкция 1.437 — Применение 1.437 — Размеры 1.437
— — кондукторные 4.548
ВТУ НЗ № 144—64 1.741
ВТУ НП — 155—63 1.738
ВТУ НП — 168—54 1.736
ВТУ НЗ — 126—63 1.737
Выдавливание 3.85 — Давление 3.87 — Размеры и точность заготовок 3.88—91 — Расчет усилия выдавливания 3.88 — Шероховатость поверхности 3.88—91
Выносливость 2.22
Выколотки 4.200
Выплавка стали 2.139 — Способы 2.138
Выпрямитель — Понятие 1.165 — Схемы 1.165—167
— — твердый 1.141
Вырубка 3.68—71 — Точность деталей 3.71—72
Высадка холодная — Расчет переходов 3.79, 81 — Расчет размеров заготовок 3.78—80, 82 — Точность заготовок 3.82 — Число ударов 3.79, 81
Высечка 3.54
Вытяжка 3.58—61 — Давление прижима 3.69 — Припуски на обрезку деталей 3.59 — Число операций (переходов) 3.74, 75
— — в ленте 3.76, 78
— — из листовых заготовок 3.76, 77
— — стали 2.139 — Способы 2.138
Вязкость масла динамическая (абсолютная) 1.731
— — кинематическая 1.731
— — ударная 2.28 — определение 2.29, 30
— — условная 1.731

Г

Газотрон 1.141
Гайки — Предельные отклонения диаметров резьбы 1.330—333
— Размеры 1.308—311
— Схема расположения полей допусков 1.336
Гайковерты пневматические реверсивные 4.229
— — электрические 4.228
Галтели 3.24
Гаусса закон 5.20, 22
Гексад 1.141
Генераторы 5.602 — Понятие 1.165 — Схемы 1.169, 170 — Типы 1.169
— Самосинхронизация 5.205 — Синхронизация 5.205
— — ламповые — Применение 5.602 — Характеристики 5.603
— — машинные — Применение 5.602 — Технические данные 5.602
Генератор-детектор 5.385
Гентод 1.141
Геркон 1.141
Гибка 3.57, 58, 73, 74
Гидродвигатели 4.537, 539
Гидросуппорт 3.171 — Резцы 3.174, 175
Гидроусилители — Применение 5.460 — Характеристики 5.459
Гидроцилиндры 4.535
Гипотеза наибольших напряжений 1.192, 193
— — непрерывности (сплошности) материала 1.173
— — энергии формоизменения 1.192, 193
Гистерезис 1.112
«Глаз магический» — см. *Индикатор настройки электронный* 1.141
Глубиномеры 4.620
Головки абразивные для шлифовальных машинок 4.183
— — механические отсчетные 4.620
— — сменные 4.209
— — конинговальные 4.83
— — шлифовальные 4.19
ГОСТ см перечень ГОСТов
Графекон 1.141
Гребенки 5.230
— — алмазные 4.44
— — дисковые 3.461 — Геометрия 3.464 — Затачивание 3.464, 467 — Кулачки 3.463
— — тангенциальные 3.469, 471
— — призматические к головкам гайконарезным РНГВ 3.471

Д

Давление — Единицы измерения 1.64
Датчики 4.628
— — индуктивные — Преимущества 5.146 — Принцип действия 5.146 — Характеристики 5.146
— — дифференциальные — Конструкции 5.147, 149
— — простые — Конструкции 5.146, 147
— — соленоидного типа — Конструкции 5.147, 148
— — трансформаторного типа — Конструкции 5.147, 148
— — электроемкостные — Принцип действия 5.148
— — информации внешней — Применение 5.347 — Примеры 5.345, 346 — Характеристики 5.344

— — информации внутренней — Применение 5.347 — Характеристики 5.343
— — пневматические — Конструкция 5.151 — Недостатки 5.155 — Преимущества 5.155 — Применение 5.150, 152, 153
— — компенсационные — Принцип действия 5.154, 155
— — пневмоэлектрические — Конструкции 5.152
— — пневмоэлектроконтактные — 5.153
— — проволочные 5.148

Датчики путевые 5.187 — Принцип действия 5.139
— — гидравлические — Конструкция 5.141
— — электрические — Конструкция 5.139—141 — Недостатки 5.139, 140

Датчики размерные — Назначение 5.141
— — механические 5.142 144
— — электрические 5.142

Датчики фотоэлектрические — Принцип действия 5.148, 149 — Характеристики 5.149
— — с лазерами 5.150

Датчики электроконтактные 5.201 — Преимущества 5.142 — Применение 5.143 — Схемы 5.145
— — амплитудные 5.146
— — безрычажные 5.143
— — предельные 5.144—146
— — рычажные 5.143

Двигатели гидравлические 4.537, 539 — Синхронизация работы 5.205, 206
— — шаговые — Преимущества 5.458 — Применение 5.458
— — электрические — Применение 5.200 — Регулирование частоты вращения ротора 5.206—211 — Торможение 5.204

Движение — Виды 1.23—25 — Количество 1.48

Движение вращательное — Кинематические параметры 1.25 — Схема 1.25 — Характеристики 1.25
— — жидкости — Режимы 1.81 — Уравнение 1.72—81
— — относительное 1.24
— — переносное 1.24
— — поступательное — Виды 1.24, 25 — Схема 1.25 — Характеристики 1.24
— — сложное плоское — План скоростей 1.26, 27 — План ускорений 1.27 — Схема 1.24
— — равномерное — Кинематические параметры 1.23
— — равноускоренное (равнозамедленное) — Кинематические параметры 1.23, 24

Декатрон 1.142
Деление автоматическое — Приспособления 5.212, 213
— — линейное 5.211
— — угловое 5.211
Дематрон 1.142
Демпфирующее устройство 5.401
Десектор 1.144
Детали из пластмасс — класс точности 3.112, 113, 116, 117
— Конструирование 3.100—111 — Надписи 3.111
— Накатка 3 109, 111
— Отверстия 3.103—106
— Оформление поверхностей 3.102, 103
— Очистка и обезжиривание 3.127, 129
— Перемычки 3.103, 105—108 — Резьба 3.104, 107
— Рифление 3.109, 110
— Толщина стенок 3.100—102
— Уклоны технологические 3.102
— Шероховатость поверхности 3.111, 116
Детектор 1.142
— — фазовый 5.887
Деформация линейная — Определение 1.179, 180
— — остаточная 2.20
— — угловая — Определение 1.180
— — упругая 2.20
Джонсона задача 5.61
Диаграмма Герси — Штрибека 1.422
— — кинематическое — Построение 1.27 — Применение 1.27
— — предельных циклов 1.256, 257
Диаграммы превращения аустенита изотермические 2.306
— — термокинетические 2.307, 309
Динистор — см *Тиристор диодный* 1.142
Динод — см *Умножитель фотоэлектронный* 1.142
Диод 1.142, 143
— — газоразрядный 1.142
Дисбаланс кругов абразивных 4.25
Диски шлифовальные фибровые 4.19, 23
Диссоциация термическая 3.92
Дифференциал — Понятие 1.634
Дифференцирование графическое 1.22 27—28
Диффузионное насыщение стали металлами 2.363—368 — см также под его названиями, например: *Алитирование, Силицирование, Хромирование, Цинкование*
Доводка деталей — Пасты и суспензии 4.114, 115, 118 — Притиры — Правка рабочих поверхностей — Схемы 4.122 — Режимы 4.119 — Способы 4.110, 111 — Станки 4.110, 112, 113, 122 — Точность 4.119 — Шероховатость поверхности 4.118, 128, 129
— — плоскопараллельных мер и цилиндрических калибров — Технологический процесс типовой 4.132

— — поверхностей 4.111, 128, 131, 142, 144
Документация технологическая 5.15
Долбление 3.354 — Подачи 3.363, 364
Долбяки — Назначение 3.643 — Основные размеры 3.643
— — для валиков прямолинейного профиля 3.644—651
— — для деталей фасонного профиля 3.651, 652
Долговечность 5.530
— — усталостная 2.24
Допуски гладких соединений 3.666, 672—725
— — на детали из пластмасс 3.116
— — на непараллельность и перекос осей цилиндрических зубчатых колес 4.316
— — на непересечение осей 4.323
— — на отливки 3.32—36
— — на поковки 3.43, 45, 47, 48, 51
— — на перекос осей в силовой червячной передаче 4.326
— — несопрягаемых размеров 3.725
— — на радиальное биение зубчатого венца 4.315
Дрессировка стали 2.38
Дроссель 1.144
— — путевой 5.204

Е

Единицы измерения магнитных величин 1.108
— — электрических величин 1.108
— — физических величин 1.14, 15
Емкость нелинейная — см. *Варикон∂* 1.144

Ж

Жаропрочность 2.245
Железо — Модификации 2.64
Желудь — см. *Лампа типа «Желудь»*
Живучесть — 2.3
Жидкотекучесть — 3.22

З

Заготовки — Ориентирование — см *Ориентирование заготовок*
Задача Ляме 1.236
Зажимные механизмы винтовые 4.504, 506
— — клиновые многорычажные и шарнирно-рычажные 4.521
— — эксцентриковые 4.513
Зажимы — Условные обозначения на схемах 4.378
Закалка индукционная — Выбор частоты тока и мощности генератора 4.603, 604
— Дефекты 5.613
— Индукторы 5.603
— Источники переменного тока 5.602
— Конденсаторы 5.604
— Особенности нагрева 5.601
— Особенности фазовых превращений 5.606—609
— Отпуск 5.612
— Режимы нагрева 5.611
— Режимы охлаждения 5.611, 612
— Система охлаждения 5.605
— Системы автоматического управления циклом 5.605
— Способы 5.600
— Стали 5.611
— Станки 5.605, 606
— Трансформаторы 5.603, 604
Закалка подшипников качения 2.191
Закалка сталей 2.312 — Характеристика 2.292—293
— — автоматных 2.106—118
— — высокопрочных среднелегированных 2.216—218
— — инструментальных 2.297, 298
— — конструкционных 2.298
— — нетеплостойких высокой твердости 2.153
— — нетеплостойких повышенной вязкости 2.157
— — полутеплостойких высокой твердости 2.161
— — полутеплостойких повышенной вязкости 2.162
— — пружинных 2.204, 205, 210, 212—214
— — теплостойких высокой твердости 2.169, 170
— — теплостойких повышенной вязкости 2.173, 174
Заклепки — Типы 4.290
Заклепочные соединения 4.290
Закон Архимеда 1.67
— — Гука 1.180
— — Живых сил 1.48
— — Джоуля-Ленца 1.109
— — Кирхгофа 1.109, 110
— — Количества движения 1.48
— — Ома 1.107, 110, 113
— — Паскаля 1.64
Заточка режущих инструментов — Инструмент — Выбор 4.101
— Общие рекомендации 4.100
— Правка кругов 4.103
— СОЖ — Выбор — 4.105
Заточка шаберов — Углы 4.180
Заточка и доводка разверток 4.109
— — резцов 4.106
— — резцов из сверхтвердых поликристаллических материалов 4.107
— — резцов твердосплавных 4.106
— — сверл спиральных 4.107
— — фрез торцовых 4.109
Захваты питателей вакуумные 5.326—328
— — зажимающие заготовки 5.321—325
— — клещевые 5.321, 322, 328
— — магнитные 5.328

— — не зажимающие заготовки 5.320
Защитно-отключающие устройства 4.234
Звездочки для цепей — Диаметр делительной окружности 1.557
— Диаметр окружности выступов 1.557
— Конструктивные типы 1.557
— Материалы 1.564, 565
— Поперечные сечения 1.557
— Профили зубьев 1.557
— Термическая обработка 1.564, 565
Звено — Движение 1.24, 25
— Понятие 1.18
— Сила инерции 1.40, 41
— Сила тяжести 1.40
— Звенья *приведения* 1.49
Зенкерование — крутящий момент 3.277
— Мощность 3.277
— Подачи 3.273
— Режимы резания 3.271
— Скорость резания 3.271, 274, 276
Зенкеры — Исполнительные диаметры 3.261
— Конструкции 3.266—273
— Параметры геометрические 3.261—265
— Элементы профиля 3.263
Зенковки центровочные 3.249
— Наборы типовые и области применения 3.251
Зернистость абразивных инструментов 4.7, 38, 40
— — абразивных материалов 4.7, 11
— — абразивных материалов для доводки 4.24
— — алмазного круга — Выбор 4.38
— — брусков хонинговальных 4.86
— — микропорошков 4.38
— — шкурок 4.24
— — шлифовальных кругов из эльбора 4.40
— — шлифпорошков 4.38
Зубодолбление 3.499—508
— Настройка станков зубодолбежных 3.506—508
— Принцип 3.499
— Режимы резания 3.507
Зубонарезание пары колес конических
— Методы 3.570, 571
— Определение длины пятна контакта 3.574
— Расчетные формулы 3.571—573
— Режимы резания 3.576
— Угол качания люльки 3.575
Зубоотделочные процессы — см. *Зубохонингование; Зубошлифование, Шевингование*
Зуботочение 3.519, 520
— Принцип 3.519
— Режимы резания 3.519, 520
Зубохонингование 3.540—542
— Методы 3.541
— Назначение 3.540
— Принцип 3.541
— Припуски 3.541
— Режимы 3.542
Зубошлифование 3.543—547
— Методы 3.543—545
— Назначение 3.543
— Припуски 3.543
— Режимы 3.546, 547
— Технические характеристики станков 3.544
Зубчатые передачи — Общие требования 4.312
Зубчатые передачи конические 4.321
— Боковой зазор гарантированный 4.323
— Допуски на пересечение осей 4.323
— Контакт зубьев — Нормы 4.321
— Контроль сборки — Схема 4.324
— Проверка зацепления на краску 4.322
— Проверка положения осей 4.322
— Смещение вершины делительного конуса 4.323
Зубчатые передачи цилиндрические 4.313
— Боковой зазор гарантированный 4.318
— Допуски на параллельность и перекос осей 4.316
— Допуски на радиальное биение 4.315
— Интенсивность шума — Характеристика 4.321
— Контроль на биение колес 4.313
— Контроль по эталону 4.314
— Проверка зазора в зацеплении колес — Схема 4.319
— Проверка зацепления на краску 4.320
— Проверка непараллельности и перекоса осей 4.317
— Размерная цепь — Схема 4.318

И

Игнитрон 1.144
Игра 5.53
Изгиб косой — Понятие 1.220 — Прогиб 1.223 — Прочность 1.220 — Схема 1.223
— — поперечный — Понятие 1.207
— — продольно-поперечный 1.253—254
— — Чистый — Понятие 1.207
Измерение твердости вдавливанием алмазной пирамиды (испытания на микротвердость) 2.36
— — по Бринеллю 2.33, 34
— — по Виккерсу 2.33—35
— — по Роквелу 2.35, 36
Изокон 1.144
Иконоскоп 1.144
Иконоскоп с переносом изображения 1.144
Импульс силы 1.48
Инвар 2.271
Ингибитор 2.61
Индикаторы — см *Микрометры*

Индикатор буквенный (знаковый) — см. *Индикатор тлеющего разряда цифровой*
— — настройки электронный 2.144
— — тлеющего разряда световой 2.144
— — тлеющего разряда цифровой (буквенный, знаковый) 2.144
— — электронно-световой 2.144
Индукторы — 5.605
Индукция магнитная 2.111
Индукционные нагреватели 4.301, 303
Индутрон газоразрядный 1.144
Инструмент абразивный — см. *Абразивный инструмент*
— — алмазный — см. *Алмазный инструмент*
— — правящий 4.41
— — твердосплавный — см. *Твердосплавный инструмент*
Инструмент для сборочных работ механизированный 4.214
— — ручной 4.200
Инструменты из твердых сплавов — Классификация 2.184
— — комбинированные 3.310, 311, 322 — Конструкции 3.312 — 319 — Способы направления 3.220—322
— — обкаточные — см. *Обкаточные инструменты*
Интеграл Мора 1.216, 217, 226
Интегрирование графическое 1.22, 28
Интерферометры 4.622
Информационное обеспечение 5.110
Информация окружающей среды 5.10
— — планирование 5.11
— — приведенных затрат 5.11
— — программы 5.11
— — производительности 5.11
— — процесса обработки 5.9, 10
— — точности 5.10, 11
— — эксплуатации 5.11
Истечение жидкости через малые отверстия — Параметры 1.97, 98 — Схема 1.98
Испытание — См. *Контроль*
Испытания динамические 2.12
— — на вытяжку и коническую матрицу по Фукуи 2.43
— — на вытяжку сферической лунки 2.41
— — на вытяжку цилиндрического колпачка и отбортовку отверстия 2.41, 42
— — на вязкость ударную 2.27, 28
— — на двойной кровельный замок 2.40
— — на длительную прочность 2.18
— — на изгиб 2.40 — Методы, образцы 2.21
— — на изгиб по Гюту, Вольтеру, на пружинение при чистке по Эйлеру 2.40
— — на кручение 2.19—21
— — на микротвердость — см. *Измерение твердости*
— — на осадку черных металлов и сплавов 2.41
— — на перегиб 2.40
— — на ползучесть 2.16—18
— — на расплющивание 2.43
Испытания механические для определения штампуемости на микротвердость 2.39
— — на растяжение 2.39
— — на твердость 2.39
Испытания на растяжение при комнатной температуре — Определяемые характеристики — Форма и размеры образца 2.14
— — при повышенной температуре — Определяемые характеристики 2.16
— — при пониженной температуре — Определяемые характеристики 2.15
Испытания на усталость 2.22 — Образцы, условия 2.25, 26
— — специальные 2.26
Испытания по Олзену, Эйвери, Гиллери 2.42
— — при повторно-переменной нагрузке 2.12

К

Кавитация — Понятие 1.61
Кадроскоп 1.145
Калибровка — Давление 3.85
— Допуски и припуски на размеры заготовок 3.86
— Усилие пресса 3.85
Калибрование — см. также *Виброобработка*
— Инструмент 4.158, 160
— Способы 4.145, 160
Калибры 4.612
— — для валов 4.614
— — для отверстий 4.613
Каменное литье 2.672, 673
Капитальные вложения — Коэффициент эффективности 5.23
— Определение 5.26—30
— Срок окупаемости 5.23
Карбидная неоднородность — см. *Карбидный балл*
Карбидный балл 2.161, 165, 189
Карбоволокниты 2.593 — см. также *Материалы композиционные волокнистые*
— — полимерные 2.592, 593
— — слоистые 2.593
— — с углеродной матрицей 2.595, 596
Карбонитрирование — см. *Нитроцементация высокотемпературная*
Карбюризаторы 2.324, 325
— — жидкие 2.332
— — твердые 2.328, 329
Карматрон 1.145
Карсинаторон — см. *Лампа бегущей волны магнетронного типа* 1.145

Катушки индуктивности — Классификация 1.134
Качество поверхности отливок 3.13, 32
— — поковок 3.43, 45, 47
— — среза 3.73
Квалитеты 3.666, 671, 672
Кенотрон 1.138, 145
Керамика 2.607 — см. также под ее названиями, например: *Каменное литье*; *Фарфор*
— — окисная 2.668, 671 — Характеристики свойств 2.669, 670
— — химически стойкая 2.671 — Характеристики свойств 2.672
Кинематика плоского движения
— Движение звена в плоскости 1.24—35
— Движение точки по заданной траектории 1.22—24
— Основные положения 1.22
Кинескоп — см Трубка телевизионная приемная 1.145
Классификаторы 5.566
Клеевые соединения 4.310
Клеймение химическое 3.135
Клейма 4.201
Клистрон 1.145
Ключи гаечные с открытыми зевами двухсторонние 4.204
— — односторонние 4.204
— — односторонние укороченные 4.205
Ключи-гайки для шпилек 4.212
Ключи динамометрические предельные 4.272
— — для гаек круглых шлицевых 4.205, 206
— — для деталей с шестигранным углублением под ключ 4.207
— — для шпилек 4.212
— — монтажные 4.207
— — рожковые 4.206
— — с регулируемым крутящим моментом 4.210
— — торцовые с внутренним квадратом 4.208
Коанда эффект 5.158, 159
Ковар 2.271
Ковка — Выбор оборудования 3.54, 55
— Способы 3.41—47
— Температура 3.37—40
— Термический режим 3.37—40
Ковка сталей нетеплостойких повышенной вязкости 2.160
— — полутеплостойких высокой твердости 2.161
— — теплостойких высокой твердости 2.168
— — теплостойких повышенной вязкости 2.173
Колатрон — см *Трубка телевизионная приемная цветная масочная*
Колесо зубчатое — Материал 1.632—633
— Понятие 1.584
— Термическая обработка 1.632—633
Колеса зубчатые конические — Геометрический расчет 3.557
— Горячее накатывание 3.577—579
— Контроль на обкатном станке 3.577
— Машинное время 3.565, 566
— Нарезание головками парными дисковыми зуборезными 3.563—567
— Нарезание строганием по шаблону и двумя резцами методом обкатки 3.558, 559
— Нарезание фрезами дисковыми модульными 3.549, 550
— Обозначения 3.548
— Притирка 3.577
— Способы нарезания 3.550—556
— Форма зуба 3.565
— Штамповка 3.579, 580
— Элементы и их обозначения 3.548, 549
Колеса зубчатые цилиндрические — Зуботочение 3.519, 520
— Изготовление 3.493—524
— Исходный контур 1.588
— Накатывание зубьев — см. *Накатывание зубьев колес зубчатых цилиндрических*
— Нарезание долбяками — см. *Зубодолбление*
— Нарезание резцом обкаточным — см *Зуботочение*
— Нарезание фрезами модульными и головками зубодолбежными 3.494—499
— Нарезание фрезами червячными 3.508—519
— Нормы кинематической точности 1.661—663
— Нормы контакта зубьев 1.666, 667
— Нормы плавности работы 1.664, 665
— Параметры 1.586, 588
— Размеры зубьев 3.493, 494
— Ряды модулей 1.586
— Смещение исходного контура 1.667—670
— Степени точности 1.661—663
— Формулы для определения технологических параметров 3.500
Колеса червячные — Материал 1.653
— Нарезание 3.522—524
— Нормы кинематической точности 1.682—684
— Нормы плавности работы 1.685
— Предельное отклонение толщины зуба 1.689
Командоаппарат программируемый 5.527, 528
Коммутатор электронно-лучевой 1.145
Компактирование (консолизация) порошков 3.93
Композитрон 1.145

Конвейер вибрационный 5.228, 229
— винтовой 5.223, 224
— гребенчатый 5.230
— двухвалковый 5.226, 227
— ленточный 5.220
— одноленточный 5.222, 223
— перекладывающий планочные конвейеры 5.229, 230
— переносящий 5.230
— пилообразный 5.230
— пневматический — принудительный 5.228
Конвейер полусамотечный механический
— Применение 5.220 — Принципы действия 5.219, 220
— пневматический — Применение 5.220 — Принцип действия 5.220
Конвейер прокатный 5.221, 222
Конвейер-распределитель 5.223
Конвейер ролико-приводной 5.224—226
— ролико-цепной 5.220, 221
— штанговый 5.230, 231
— челночный 5.231, 232
Конденсаторы 5.606 — Кодированные обозначения 1.130 — Классификация 1.132 — Материалы 1.133 — Типы 1.133, 134
Конденсаторы электрические — см. *Номинальные емкости*
Конические соединения неподвижные 4.286, 288, 290
Константан 2.446
Контролируемые атмосферы 2.305
Контроль — Автоматизация 5.383 — Механизация 5.383
— абразивной шкурки 4.25
— автоматический 5.383
— активный — Средства — см. *Средства активного контроля*
— геометрических параметров абразивных инструментов 4.25
— зубчатых передач 4.313, 314, 317
— качества сборки опор с подшипниками качения 4.329
— качества сборки опор с подшипниками скольжения 4.339
— межоперационный 5.576
— неуравновешенности шлифовальных кругов 4.25
— погрешностей формы 4.642
— полуавтоматический 5.383
— прямолинейности и плоскостности 4.644
— размеров 4.612, 613, 626
— размеров активный — Средства 4.627
— резьбы 4.654
— сопряжений гладких 4.638
— твердости абразивных инструментов 4.25
— усилия затяжки резьбовых соединений 4.273
— червячных передач 4.313, 314, 317, 681, 694
Контроль размеров 4.612, 636
— Системы и элементы автоматизации 4.626
— Средства общего назначения 4.613
Конусы установочные 4.473
Концентраторы напряжений — Понятие 1.259
Концентрация напряжений — Понятие 1.259
Копель 2.446
Копирные устройства 4.549
Копировальное фрезерование объемное 4.568
Копирование кинематическое 5.418
— по программе 5.419
— по шаблону 5.418
— профиля инструмента 5.418
— профиля направляющих 5.418
Копиры для станков токарных 3.172—174 — Материал 3.173 — Проектирование 3.173, 174 —
— для станков фрезерных 4.549
— для кулачков цилиндрических 4.560
Коррозионная стойкость [металлов 2.59, 60
— Объемный [метод оценки 2.60 — Оценка по десятибалльной шкале 2.59
Коррозия металлов 2.57 — Виды 2.58 — Показатель 2.58, 60 — Способы защиты 2.60—63
Коэффициент асимметрии цикл 2.23, 1.256, 257
— времени врезания инструмента 3.403
— вытяжки 3.78
— динамический 1.268—270
— запаса 1.191, 192, 209, 267
— затекания 2.55
— использования материала 3.61
— истечения струи 1.98
— концентрации напряжений — Определение 1.259, 260—265 — Понятие 1.259, 260
— местного сопротивления — Определение 1.87—93 — Понятие 1.87
— мощности 1.112
— отбортовки низкоуглеродистой стали 3.77, 78
— понижения 1.246
— пористости 1.246
— приведенной длины 1.243—245
— приведенной массы 1.271
— расхода 1.100
— сжатия струи — Понятие 1.98
— трения 1.43—46, 421, 422
— устойчивости 1.243, 244
Коэффициент готовности АЛ 5.532, 536
— жесткосблокированный — Оценка 5.537, 540
— однопоточной многоучастковой — Оценка 5.541, 542, 543

— — однопоточной, разделенной на участки накопителями — Оценка 5.540
— — с гибкой связью — Оценка 5.547
— — состоящей из одинаковых независимых потоков, обслуживаемых наладчиками — Оценка 5.544—547
Коэффициент загрузки АЛ 5.533 — Оборудование 5.25
Коэффициент использования поля допуска 5.548
— — станка эксплуатационный 5.441
— — технического АЛ 5.529, 532
Коэффициент комплексности технического процесса 5.549
— — наложения потерь 5.540
— — приведения 5.25
— — сравнительной производительности 5.26
— — эквивалентности — см. *Коэффициент приведения*
— — эксплуатации АЛ 5.533
Кривая намагничивания 1.111
— — усталости — Построение 2.25
— — малоцикловой 2.26, 27
Кривые деформации 2.12
Криосар 1.145
Криотрон 1.145
Кристадин 1.146
Кристаллическая решетка 2.70, 71
Критерий аддитивный 5.120
— — дизъюнктивный 5.120
— — конъюнктивный 5.120
— — мультипликативный 5.120
— — Эйлера 1.80
Кулачок — Порядок построения профиля 1.58
— Профиль 1.56
— Схема построения профиля 1.57

Л

Ладдетрон 1.146
Лазер 1.146 — Применение 5.150
— — газовый 5.150
Лампа бегущей волны 1.146
Лампа бегущей волны магнетронного типа 1.146
— — с фотоэмиссией 1.146
— — электронно-волновая 1.146
Лампа большой крутизны 1.146
— — варимю — см. *Лампа переменной крутизны* 1.146
— — высокой крутизны 1.146
— — газоразрядная — см. *Прибор ионный* 1.146
— — генераторная 1.139, 146
— — импульсная 1.146
— — катодная см. *Лампа электронная*
— — кольцевого разряда 1.146
— — комбинированная 1.146
— — маячковая 1.147
— — металлическая 1.147
— — металлокерамическая 1.147
— — миниатюрная 1.147
— — многосеточная — см. *Лампа многоэлектродная*
— — многоэлектродная 1.147
— — модуляторная 1.139
— — неоновая сигнальная — см. *Индикатор тлеющего разряда*
— — обратной волны 1.147
— — обратной волны магнетронного типа 1.147
— — пальчиковая 1.147
— — переменной крутизны 1.147
— — приемно-усилительная 1.138, 139
— — прямой волны — см. *Лампа бегущей волны магнетронного типа*
— — реактивная 1.147
— — с катодной сеткой 1.147
— — с удлиненной характеристикой 1.147
— — со вторичной эмиссией 1.147
— — стержневая 1.147
— — типа «желудь» 1.147
— — цифровая 1.148
— — экранированная — см. *Тетрод с экранирующей сеткой*
— — электрометрическая 1.148
— — электронная 1.148
— — электронная разборная 1.148
— — электронная самоподогревного типа 1.148
— — электронная с правыми характеристиками 1.148
— — электромагнитная усилительная 1.148
Латунн 2.419 — Марки, обозначение, состав 2.419, 422—425
— Полуфабрикаты 2.421, 430, 431
— Характеристики свойств 2.421, 426—429
Легирование поверхностное 2.561, 562
Легирующие элементы 2.139, 141
— Влияние на свойства бронз 2.432, 433
— Влияние на свойства латуней 2.419, 421
— Влияние на свойства меди 2.418
— Влияние на свойства сплавов медноникелевых 2.441
— Влияние на свойства сплавов никелевых 2.455
— Влияние на свойства сталей 2.73, 74—78, 215, 216, 321, 322
— Влияние на свойства чугуна 2.322
— Классификация 2.69
— Назначение 2.64
Легирующие элементы графитизирующие 2.69
— — карбидообразующие 2.73, 309
— — нейтральные 2.73
Лента пружинная — Механические свойства 1.703
— — термически обработанная — Материал для изготовления 2.201 — Отпуск 2.202 —

Свойства прочностные и число переменных изгибов 2.202
— — холоднокатаная 2.203 — Характеристики свойств 2.204
Линейки направляющие 4.61
— — оптические 4.651
— — поверочные 4.644
Линии автоматические — Вспомогательные устройства 5.165, 166
— Классификация 5.498—501
— Классификация систем управления 5.524, 525
— Компоновки 5.501—516
— Коэффициент готовности 5.79—83, 547
— Надежность 5.530—536
— Назначение 5.498
— Номинальная производительность 5.528, 529
— Оптимальная производительность 5.518—520
— Особенности выбора режимов 5.519, 520
— Оценка технического уровня 5.547—550
— Понятие 5.498
— Преимущества 5.68
— Проектная производительность 5.529
— Производительность 5.528
— Режимы работ 5.525
— Системы управления с использованием вычислительной техники 5.525—528
— Технологическая производительность 5.529
— Точность обработки 5.517, 518
— Требования к технологическим процессам 5.516—518
Линии автоматические автоматизированные 5.500
— — ветвящиеся 5.498
— — для обработки валов 5.507—510
— — для обработки зубчатых колес 5.513, 514
— — для обработки корпусов 5.504—506
— — для обработки фланцев и дисков 5.511, 512
— — для сборки 5.586, 593, 595, 596
— — комплексные 5.499
— — многопоточные 5.71, 83—85, 88—110
— — несинхронные 5.498
— — несквозные 5.499
— — переналаживаемые 5.499
— — роторные 5.499
— — синхронные 5.498
— — сквозные 5.498
— — с нерегламентированным адресованием 5.499
— — спутниковые 5.498
— — с регламентированным адресованием 5.499
Линии полуавтоматические для сборки изделий 5.586, 587, 593, 594
— — технологические 5.61—66
Линия нейтральная — Понятие 1.207, 208
— — тока — Понятие 1.71 — Схема 1.71
— — упругая — Понятие 1.208 — Уравнение 1.216
Литье — Способы 3.8—13
Лотки змейковые 5.252, 253
Лотки пазовые — Назначение 5.250 — Формулы для расчета 5.251
— — вертикальные — Схемы 5.250
Лотки пневматические — Применение 5.257 — Формулы для расчета 5.260, 261
— — принудительные — см. *Устройства магазинно-транспортные* 5.261
— — рельсовые — Применение 5.249 — Схема 5.249 — Формулы для расчета 5.249, 250
— — роликовые — Применение 5.251 — Схема 5.252 — Форма роликов 5.252 — Формулы для расчета 5.251
Лотки-скаты — Формулы для расчета 5.248, 249
Лотки-склизы 238 — Геометрические параметры 5.241—243
— Расчет пропускной способности 5.238, 244—246, 248, 249
— Формулы для расчета зазоров 5.242—244
Лотки спиральные — Формулы для расчета 5.253
Лужение 3.134
Люнет с двумя упорами 4.54
— — следящий 4.55

М

Магазины-накопители 5.264
Магазины полусамотечные — Принцип работы 5.256
— — механические — Конструкции 5.257 — Параметры 5.257 — Применение 5.256 — Схемы 5.256 — Формулы для расчета 5.258, 259
Магазины стержневые — Принципиальные схемы 5.255. — Формулы для расчета 5.255, 256
— — трубчатые — Виды 5.253 — Формулы для расчета 5.253, 254
— — шахтные — Принципиальные схемы 5.255 — Формулы для расчета 5.255, 256
Магнетрон (прибор М-тица) 1.148
Магнетрон Банхемана 1.148
— — бегущей волны усилительный — см. *Лампа бегущей волны магнетронного типа*
— — газонаполненный 1.148
— — коаксиальный 1.148

— — обращенный 1.148
— — с сеткой 1.148
— — сетевой 1.148
Магний 2.506 — Характеристики свойств 2.507, 508
Магниты 2.268 — см. *Сплавы магнитно-твердые*
Мазер 1.148
Мальтийские механизмы — Применение 5.575 — Расчет 5.312—314
Манипуляторы 5.334
Маркировка абразивных инструментов 4.7, 12, 15
— — алмазных кругов 4.32
— — эльборовых кругов 4.32
Масла индустриальные для приспособлений с гидравлическим приводом 4.536
Масла минеральные — Вязкость 1.731, 732
— Зольность 1.732
— Кислотное число 1.732
— Коксовое число 1.732
— Присадки 1.733
— Стабильность 1.732
— Термоокислительная способность 1.732
— — смазочные — Физико-химические свойства 1.734—738
Масса падающих частей молота 3.54, 55
Математическая модель 5.51, 52, 54, 55, 69, 70
Математическое ожидание 5.51
Материалы абразивные — см *Абразивные материалы*
— — магнитные — Группы 1.134
— — проводниковые — Характеристики 1.109
Материалы композиционные волокнистые 2.599 — Анизотропия свойств 2.589
— Способы изготовления 2.596, 598
— — вискеризованные 2.591
— — дисперсноупрочненные 2.587
— — металлические 2.586, 587, 597
— — на алюминиевой основе 2.597
— — на никелевой основе 2.598
— — на основе алюминий — стальная проволока 2.597
— — на основе алюминия и магния 2.597, 598
— — на основе легких сплавов 2.598
— — слоистые 2.592
— — с направленной кристаллизацией эвтектических структур 2.599
— — с однонаправленным и перекрестным расположением волокон 2.591
— — с ортогональной и сложной укладкой волокон 2.589, 590
— — с пространственно сшитой арматурой 2.591
Материалы неметаллические — см. под их названиями, например: *Керамика, Ситаллы; Пластические массы*
— — подшипниковые 2.407, 415 — см под их названиями, например: *Баббиты оловянные; Баббиты свинцовые; Сплавы алюминиевые подшипниковые*
Матрица 5.53
Машины горизонтально-ковочные — Производительность 3.55
— — литьевые 3.114
— — резьбозавертывающие 4.214, 224, 228
— — резьбонарезные реверсивные 4.214, 224, 229, 230
— — сверлильные 4.214, 219, 222
— — шлифовальные 4.214, 219, 225
Машины ручные для слесарно-пригоночных и сборочных работ 4.214 — Классификация 4.215
— Технические характеристики 4.219
Меднение 3.134
Медь 2.415 — Марки, состав 2.417
— Полуфабрикаты 2.419, 420
— Характеристики свойств 2.415, 416, 418
Мезатранзистор (мезатриод) 1.148
Меры длины концевые 4.614, 617
— — штриховые 4.617
Металлы — Коррозия — см *Коррозия металлов*
— — тугоплавкие 2.547 — см. также под их названиями, например: *Вольфрам, Молибден, Ниобий, Тантал*
— — цветные — см. под их названиями, например. *Алюминий; Магний, Медь; Титан, Цинк*
— — черные — см *Стали; Чугун*
Метод АЕГ, института пластической деформации металлов ГДР, Зибеля 2.43
— — «ветвей и границ» 5.62
— — испытаний листов и лент гидравлический 5.41, 42
— — Лагранжа 1.70
— — «растушевки» 5.602
— — сил 1.226
— — хорд 1.217, 219
— — Эйлера 1.70
Метчики гаечные 3.452
— — комбинированные 3.452
— — маточные 3.452
— — машинные 3.450, 452
Метчики-протяжки 3.456
Механизация 5.8
Механизм — План скоростей 1.29, 30
— План ускорений 1.30—33
— Понятие 1.18
Механизм винтовой трехзвенный 1.51, 52
— — двухкривошипный 1.53
— — кривошипно-коромысловый 1.53
— — кривошипно-кулисный с вращающейся кулисой — Применение 1.56 — Схема 1.54

— — кривошипно-кулисный с качающейся кулисой — Параметры 1.56 — Применение 1.55 — Схема 1.54
— — кривошипно-кулисный с поступательно-движущейся кулисой — Параметры 1.55 — Применение 1.55 — Схема 1.54
— — кривошипно-шатунный центральный — Параметры 1.54 — Применение 1.54, 55 — Схема 1.54
— — кулачковый — Устройство 1.56
— — многозвенный с одной поступательной парой — Схема 1.50, 51
— — с дифференциальным винтом 1.52
— — с одной винтовой парой 1.51
— — с поступательным движением звеньев — Схема 1.19
— — телескопический 1.52
— — шарнирного параллелограмма 1.53
— — шарнирный — Схемы 1.19
Механизмы включения и выключения 5.200 — Применение в металлорежущих станках 5.200—203
— Принцип действия 5.200
— Электродвигатели 5.200, 201
Механизмы ориентации 5.265—272
— — барабанные лопастные 5.276, 277
— — вибрационные — см. *Вибробункера*
— — дисковые карманчиковые 5.283—286
— — дисковые щелевые 5.274
— — карманчиковые 5.283
— — крючковые 5.280—282
— — лопастные 5.274, 275
— — поштучные 5.298, 299
— — секторные 5.278—281
— — с трубками 5.267, 273
— — фрикционные дисковые 5.274
— — шиберные 5.278, 279
— — элеваторные 5.277, 278
Механизмы храповые 5.309, 310
Механические головки 4.620
Механотрон 1.149
Микатор 4.620
Микрокатор 4.620
Микромеры 5.142, 144
Микрометрические инструменты 4.619
— — штихмасы 4.656
Микрометры 4.619, 638, 641, 655
Микромодуль 1.149
МН 398—65 3.372
399—65 3.372
400—65 3.372
403—65 3.372
404—65 3.372
405—65 3.372
406—65 3.372
407—65 3.372
413—65 3.370
414—65 3.370
415—65 3.370
416—65 3.370
417—65 3.370
983—64 3.369
992—60 3.369
993—54 3.369
994—60 3.369
995—60 3.369
1067—60 1.456, 457
1068—60 1.456, 457
1069—60 1.458
1083—60 3.370
1084—60 3.370
1085—60 3.370
1086—60 3.370
1087—60 3.370
2096—64 1.470, 471
2107—61 3.372
2108—61 3.372
2109—61 3.372
2727—61 1.455
2728—61 1.455
2729—61 1.455
3386—62 3.369
5023—63 1.450
5342—64 3.372
Многоугольник веревочный 1.34, 35
— — силовой 1.34, 35
Множители для образования кратных и дольных единиц 1.17
Модели — Формовочные уклоны 3.20, 21
— — операционные 5.120
— — управления запасами 5.57—60
Моделирование операционное 5.117, 120
— — ситуационное 5.117
Модификаторы 2.600
Модуль 1.149
Модуль упругости при сдвиге — Определение 2.19
Молибден — Взаимодействие с различными средами 2.556
— Назначение 2.556, 558
— Получение и обработка 2.554
— Характеристики свойств 2.554—556
Молотки клепальные пневматические 4.231, 232
— — слесарные 4.169, 200
Молоты штамповочные — Производительность 3.55
Момент двигателя вращающий 1.116
— — сечения 1.181, 182
— — электромагнитный вращающий 1.116, 117
Момент инерции главный 1.184
— — осевой 1.181, 183
— — приведенный 1.49, 50
— — полярный 1.182, 183
— — центробежный 1.181—184, 189, 190
Моментные цилиндры 4.638
Моноскоп («Лжетрубка») 1.149
МОП-транзистор — см. *Транзистор полевой* 1.149
Мощность 1.48

Мощность на валу 1.117
МРТУ 12Н 1.736
12Н № 88—64 1.739
12Н № 118—64 1.739
12Н-120—64 1.739
4-2-114—66 2.187
6-05-871—66 2.611
6-05-988—66 2.613
6-05-1018—66 2.615
6-05-1032—66 2.614
6-05-1032—66 2.614
6-05-1041—71 2.620
6-05-1082—67 2.623
6-05-1169—69 2.626
6-05-1248—69 2.613, 614
6-05-1297—70 2.622
6-05-1441—71 2.613
6-06-308—70 2.614
6-11-60—67 2.623
6-11-129—69 2.618
6-11-139—69 2.623
6-11-191—71 2.623
38-1-15—64 1.738

Муфты — Выбор типа 1.451—453
— Классификация 1.449
— Компенсирующая способность 1.450, 451
— Назначение 1.449
— Применение 1.455, 461
— Упругие свойства 1.451—453
— Учет инерционных нагрузок 1.453—455

Муфты втулочные со шлицами — Применение 1.455 — Технические характеристики 1.458
— — втулочно-пальцевые — Применение 1.461 — Технические характеристики 1.470, 471
— — втулочные *со штифтами и* шпонками — Применение 1.455 — Технические характеристики 1.456—463
— — вубчатые — Применение 1.455, 461 — Технические характеристики 1.462, 463
— — кулачково-дисковые — Применение 1.461 — Технические характеристики 1.466—467
— — подвижные — Применение 1.461
— — предохранительные — Применение 1.474 — Технические характеристики 1.476—478
— — со звездочкой — Применение 1.461, 474 — Технические характеристики 1.474
— — со срезанным штифтом — Применение 1.474 — Технические характеристики 1.475
— — с торообразной оболочкой — Применение 1.461 — Технические характеристики 1.472, 473
— — упругие — Применение 1.461
— — фланцевые — Применение 1.455 — Технические характеристики 1.459, 460
— — цепные однорядные — Применение 1.461 — Технические характеристики 1.464, 465
— — шарнирные — Применение 1.461 — Технические характеристики 1.468, 469

Н

Нагрев для термообработки сталей 2.302
— Зернистость стали 1.295, 296
— Назначение 1.289
— Применение контролируемых атмосфер 2.303, 304
— Продолжительность при аустенизации 2.297, 298, 300
— Составы солей 2.305
— Температура аустенизации 2.296, 297, 299
— Условия 2.290—294
Нагреватели индукционные 4,301, 303
Нагрузки — Виды 1.173, 174
Нагрузки динамические 1.173, 174
— — объемные 1.174
— — поверхностные 1.173
— — распределенные 1.173
— — сосредоточенные 1.173
— — статические 1.173, 174
Надфили 4.171, 172
Надежность 2.30; 5.532
Накатки для правки кругов шлифовальных 3.473, 474
Накатывание зубьев колес зубчатых цилиндрических — Жидкость смазочно-охлаждающая 3.521
— Назначение 3.520
— Режимы 3.519, 520
— Способы 3.519, 520
— Схемы 3.518
Накатывание резьбы внутренней — см. *Раскатывание резьбы внутренней*
Накатывание резьбы наружной — Диаметр заготовки 3.490 — Способы 3.485
— — головками резьбонакатными 3.488, 489
— — плашками плоскими 3.485
— — роликами с тангенциальной подачей 3.489
— — роликами цилиндрическими с радиальной подачей 3.486, 487
— — роликом вращающимся резьбовым и сегментом резьбовым 3.489, 490
— — с осевой подачей 3.487, 488
Накатывание рифлений 3.178, 182
Наклеп поверхностный — Виды 2.220, 221
— Влияние на свойства деталей из сталей высокопрочных 2.220, 222

Напильники ручные 4.170
— — машинные 4.173
Наполнители 2.584, 600
— — армирующие 2.583
Напряжение — Компоненты 1.178
— Определение 1.175
— Понятие 1.175
Напряжение — Главное 1.177, 178
— — истинное 2.12, 13
— — касательное 1.176—178
— — линейное (межфазное) 1.113
— — номинальное 2.24
— — нормальное 1.177
— — полное 1.176
— — условное 2.12, 13
— — фазное 1.113
— — эквивалентное 1.192
Напряжение цикла максимальное 2.23
— — минимальное 2.23
— — среднее 2.23
Напряженность магнитного поля 1.111
Напуски кузнечные 3.48, 51
Наработка 5.533
— — на отказ 5.533
Нарезание резьбы резцами 3.444—447
— Гребенки 3.446 — Настройка станка токарного 3.447 — Схемы 3.444 — Установка резцов 3.445
— — наружной и внутренней 3.446, 447
— — торцовой 3.447
Нарезание резьбы головками 3.461—471
— Крутящий момент 3.463 — Юстировка микрометров 3.466—468
— — плашками 3.450
Нарезание резьбы метчиками — Жидкость смазочно-охлаждающая 3.459 — Крутящий момент 3.457 — Проверка среднего диаметра резьбы 3.457, 458
— — в металлах легких 3.459
— — в сталях коррозионно-стойких 3.459, 460
— — в титане и его сплавах 3.460
Насадки — Понятие 1.99
— Технические характеристики 1.99—101
— Формы 1.99
Насадок внутренний цилиндрический
— Технические характеристики 1.99 — Форма 1.99
— — внешний цилиндрический — Технические характеристики 1.99 — Форма 1.99
— — конический сходящийся — Схема истечения 1.100 — Технические характеристики 1.100 — Форма 1.99
— — цилиндрический со скругленным входом — Технические характеристики 1.99 — Форма 1.99
Натяг гарантированный — см. *Соединения с гарантированным натягом*
Натяжение ремня 1.555
— — цепи — Способы регулирования 1.583
Нейристор 1.149
Незвольвентные профили см *Профили незвольвентные*
Нигитрон 1.149
Никель 2.447 — Марки, состав, назначение 2.449, 450
— Полуфабрикаты 2.454
— Характеристики свойств 2.447, 448, 451—454
Никелирование 3.134
Никотрирование — см. *Азотирование с добавками углеродосодержащих газов*
Ниобий — Взаимодействие с различными средами 2.549, 551
— Получение и обработка 2.548, 549
— Применение 2.551
— Характеристики свойств 2.548, 549
Нитроцементация 2.194
— — высокотемпературная 2.356—360
— — низкотемпературная — см. *Азотирование с добавками углеродосодержащих газов*
Нить — Понятие 1.173
Ножницы пневматические 4.230
— — циркульные для вырезания прокладок 4.241
— — электрические 4.231
Ножовочные полотна — Размеры 4.70
Нормаль С1 — 332—52 1.704
Нормирование ресурсов 5.48
Нутромеры индикаторные 4.642
— — микрометрические 4.620
— — повышенной точности 4.642

О

Обеспечение АСУП 5.49
— — информационное — см. *Информационное обеспечение*
— — производства 5.48, 49
Обкатка колес зубчатых цилиндрических 3.543 — см. *Зубоотделочные процессы*
Обкаточные инструменты 3.581 — см. *Долбяки; Резцы обкаточные; Фрезы червячные*
— — с компланарным направлением скоростей главного и обкаточного движений 3.658—662
— — с профилированием по переходной кривой и эквидистанте к ней 3.656—658
Оболочка — Понятие 1.173
— Расчет 1.238—240
— Устойчивость 1.240
Оборудование для нагрева деталей 4.245
— — для охлаждения деталей 4.247
Обработка — Виды — см. под на

названиями, например *Обработка термическая, Обработка химико-термическая*
Обработка абразивно-электрохимическая 3.162
— Виды
Обработка анодно-механическая 3.146 — Инструмент 3.145 — Режимы 3.144 — Технологические характеристики 3.144
— — магнитоимпульсная 3.151 — Операции 3.152 — Производительность установок 3.152 — Режимы 3.152
Обработка на шлифовальных станках — см. *Абразивная доводка деталей; Доводка режущих инструментов; Заточка режущих инструментов; Полирование; Суперфиниширование; Хонингование; Шлифование*
Обработка на шлифовальных станках отделочная абразивным инструментом 4.77
— — эльборовым инструментом 4.76, 78
Обработка термических сплавов см. под их названиями, например: *Сплавы алюминиевые деформируемые — Обработка термическая*
Обработка термических сталей — см. *Закалка сталей. Отжиг сталей; Отпуск сталей*, а также под их названиями, например: *Стали высокопрочные — обработка термическая*
— Виды 2.289 — Схемы режимов 2.312
— — после цементации 2.334 — Режимы 2.335
— — предварительная 2.15
Обработка термомеханическая 2.238
Обработка токарная — Припуски 3.166—168
— Размеры операционные 3.166, 168
— Режимы резания 3.204—222
— Точность 3.166, 167
— Шероховатость поверхности 3.166, 167
Обработка токарная валов нежестких 3.170
— — деталей сложных 3.184
— — деталей ступенчатых 3.170—172
— — деталей эксцентричных 3.178, 184
— — конусов 3.176—178
— — на станках револьверных 3.223—226
— — на станках с программным управлением 3.175, 176
— — поверхностей внутренних 3.178, 183
— — поверхностей наружных 3.166, 169
— — поверхностей сферических 3.178—181
— — поверхностей фасонных 3.178—181
— — по копирам 3.172—175
Обработка ультразвуковая 3.147 — Инструмент — Концентратор 3.151 — Инструмент сменный 3.147, 151 — Операции 3.147 — Производительность 3.148 — Режимы 3.148 — Точность 3.148 — Шероховатость поверхности 3.148
Обработка химико-термическая — Виды — см. под их названиями, например: *Цементация; Цианирование*
Обработка химико-термическая металлов для защиты от окисления 2.561, 578—581
— — вакуумным диффузионным насыщением 2.566, 567
— — диффузионным насыщением в порошковых смесях 2.562, 564, 565 — см. *Силицирование*
— — диффузионным насыщением из химически активных сред 2.567
— — ионизационным диффузионным насыщением 2.576, 577
— — циркуляционным диффузионным насыщением 2.567—572, 575, 576
Обработка химико-термическая сталей 2.323
— см под ее названиями, например: *Азотирование стали; Борирование; Нитроцементация*
Обработка химическая 3.123—135
— Обезжиривание пластмасс 3.127
— Покрытия защитные 3.130, 131
— Растворители органические 3.128
— Растворы щелочные 3.128
— Составы для обработки стали и чугуна 3.123, 125
— Составы для обработки цветных металлов и сплавов 3.124, 125
— Составы для полирования алюминия и его сплавов 3.132, 133
— Составы для полирования меди и ее сплавов 3.133
— Составы для полирования стали 3.131
— Составы для химического клеймения 3.135
Обработка электроимпульсная 3.136, 138
— — электроискровая непрофилированным инструментом 3.139, 146
— — электроконтактная 3.145, 146
Обработка электрофизическая — *Методы* 3.137
Обработка электрохимическая 3.153—162— Качество поверхности 3.161, 162
— — комбинированная 3.162, 165
— Маркировка деталей 3.159
— Режимы 3.160
— Отверстия 3.153, 155, 156
— Покрытия электродов 3.16

— Разрезка материалов катодом — диском 3.159
— Скругление кромок 3.159
— Снятие заусенцев 3.159
— Составы электролитов 3.155
— Формообразование поверхностей 3.153, 154
— Фрезерование профильное 3.156, 158

Обработка электроэрозионная 3.136—146
— Зазор межэлектродный 3.144
— Износ инструмента — 3.138—140, 143 — Материал 3.138—141 — Правка 3.136, 139
— Погрешность обработки 3.140
— Производительность 3.137—139, 142
— Прошивка отверстий малого диаметра 3.142
— Режимы 3.142—144
— Способы компенсации влияния износа инструмента 3.141
— Шероховатость поверхности 3.137—139

Образец Менаже 2.28, 50, 51

Объем удельный 1.60, 62, 63

Оксидирование 2.170, 171
Октод 1.149
ОН 6-07-5—63 1.550

Операция — Показатель эффективности 5.51 — Понятие 5.51
— — технологическая 5.8

Опиливание 4.170

Опора — Линии действия реакций 1.33
— Определение реакций 1.35
— Реактивные моменты 1.33
— Условные обозначения 4.378

Опора анкерная — Применение 1.104 — Схема 1.104
— — скольжения гидростатическая — Применение 1.447 — Схемы 1.446, 447

Опоры специальных приспособлений вспомогательные 4.473
— — основные 4.469

Опоры с подшипниками качения
— Демонтаж подшипников 4.333
— Монтаж подшипников на валу и в корпусе 4.330
— Контроль и регулировка радиального и осевого зазоров — Способы 4.333
— Погрешности сборки 4.334
— Подготовка к сборке 4.327
— Регулировка и контроль качества сборки 4.329
— Сборка соединений с игольчатыми подшипниками 4.328
— Установка подшипников на валу 4.328

Опоры с подшипниками скольжения 4.334
— Контроль соосности отверстий при сборке 4.339
— Приспособления для центрирования втулок подшипников при сборке 4.337
— Сборка общая 4.337
— Технические требования к изготовлению деталей и подготовка к сборке 4.334
— Установка втулок и вкладышей в корпус 4.335
— Фиксация втулок, вкладышей и крышек 4.338

Оправки гидропластмассовые 4.437, 438
— — самозажимные 4.435
— — с гофрированными втулками 4.444, 447
— — с разрезной втулкой 4.432, 433
— — с упругими разжимными шайбами 4.430
— — стандартизированные 4.426, 427
— — цанговые 4.425, 426
— — цилиндрические прессовые 4.436

Оправки пружинные 3.338, 342
— — расточные 3.309, 310

Определение профиля долбняка для детали дугового профиля по точкам с помощью общих нормалей 3.582, 583
— — режущих кромок фрезы червячной для детали прямолинейного профиля с помощью линии профилирования 3.583, 584

Определение профиля инструмента методами плоскостными 3.599—602
— — методами пространственными 3.594—599
— — построением по двум точкам фиксирующим 3.586, 590
— — построением по отрезкам симметричным 3.593, 594
— — построением по точкам центроиды 3.590

Оптика волновая 1.149
Оптикатор 4.620
Оптическая линейка 4.651
Оптическая струна 4.651
Оптические приборы 4.622, 651
Оптрон 1.149
ОПТУ 578-59 2.621
Организационно-плановые расчеты 4.570
Оргоснастка рабочих мест — Технические характеристики 4.235
Ориентирование заготовок автоматическое 5.266
Ортикон 1.149
Ортикон с переносом изображения 1.150
Осадка 3.82 — Деформации допустимые 3.83
Оснастка модельная 3.17 — Выбор материала 3.16
ОСТ 2Н23-660 5.457
1010 3.116
1014 3.378, 379
1015 3.379

1023 3.378
1024 3.378
38517-73 1.543
ОСТ/НКПТ 3151 1.491
Осциллографы электронные
— Применение 1.171
— Технические характеристики 1.171
— Типы 1.171
Ось — Назначение 1.335
— Применение 1.355
— Проверка на виброустойчивость 1.371
— Расчет на выносливость 1.364—369
— Расчет на жесткость 1.371
— Расчет на статическую прочность 1.369—371
Отбортовка 3.63
Отверстия — Допуски и припуски 3.230
— Обработка в автоматизированном производстве 3.322, 323
— Отбортовка 3.78
— Размеры инструментов 3.231
Отвертка реверсивная ручная со сменными вставками 4.203
Отжиг сталей 2.310 — Нормы выдержки 2.300 — Характеристика 2.290, 291
— — нетеплостойких высокой твердости 2.152, 153
— — нетеплостойких повышенной вязкости 2.157
— — полутеплостойких высокой твердости 2.161
— — полутеплостойких повышенной вязкости 2.162
— — теплостойких высокой твердости 2.168
— — теплостойких повышенной вязкости 2.173
Отказы — Вероятность 5.12
— Интенсивность 5.12
Отклонения диаметральных размеров колец в связи с деформациями под действием асимметричных усилий затяжки 4.450
— — межосевого расстояния в силовой червячной передаче 4.326
— — от круглости колец в связи с деформациями под действием асимметричных усилий закрепления 4.449
— — от круглости толстостенного кольца под действием асимметричных усилий закрепления 4.450
— — от соосности поверхностей колец, обработанных с использованием различных патронов и оправок 4.448
— — рабочих поверхностей кулачков и опор относительно базирующих поверхностей 4.414
— — расположения поверхностей 3.725 — Значения предельные 3.731 — Обозначения условные 3.728, 729
— — формы 3.722, 725 — Значения предельные 3.730, 731 — Обозначения условные 3.722, 726, 727
Отклонения формы и расположения поверхностей вращения и торцов тонкостенных колец в связи с угловыми деформациями при закреплении в приспособлениях 4.450
— — для прецизионных шлифовальных станков 4.50
— — магнитных патронов 4.411
— — патронов 4.404, 406
Отливки — Базы разметки 3.21
— Выбор толщины стенки 3.22, 23
— Группы серийности 2.141; 3.9, 10
— Группы сложности 2.141, 3.10, 11
— Жидкотекучесть 3.22
— Затвердевание 3.17
— Методы контроля 2.141
— Назначение 2.141
— Определение технологичности 3.18, 19
— Обработка термическая 2.142
— Точность 3.12, 32
— Уклоны конструктивные 3.19, 20
Отливки бронзовые 2.431
— — латунные 2.421
Отливки из сталей 2.137 — Назначение, методы контроля 2.141
— — высоколегированных 2.143
— — конструкционных легированных 2.142—148
— — конструкционных нелегированных 2.141, 142
Отливки из чугуна
— — высокопрочного с шаровидным графитом 2.374, 375
— — жаростойкого 2.377
— — ковкого 2.376 — Отклонения по массе 3.33 — Отклонения размеров 3.33
— — отлитые в металлические формы 2.374
— — серого чугуна и стали — Отклонения по массе 3.33 — Отклонения размеров 3.33
Отливки из цветных сплавов — Допуски на размеры 3.35
— Качество поверхности 3.13, 32
— Классы точности 3.12
— Конструирование 3.17—32
— Построение внутренних полостей и отверстий 3.24, 27
— Припуски на обработку 3.36
— Распределение по массе 3.8
— Сопряжения элементов 3.28—30
— Способы изготовления 3.8—16
— Стоимость сравнительная 3.11
— Толщина стенок 3.32
— Уклоны конструктивные 3.19, 20
— Экономичность 3.21, 22
Отпуск ленты термически обработанной пружинной 2.202
— — подшипников качения 2.192
Отпуск сталей — Характеристика 2.289
— — автоматных 2.106—118

— — высокий 2.321, 322
— — высокопрочный среднелегированных 2,216, 217, 222
— — карбидный 2.168, 169
— — нетеплостойких высокой твердости 2.154, 155
— — нетеплостойких повышенной вязкости 2.159
— — низкий 2,320, 321
— — полутеплостойких высокой твердости 2.161
— — полутеплостойких повышенной вязкости 2,163
— — после цианирования 2,170
— — пружинных 2,201, 205, 206—208, 210
— — смягчающий 2.173
Охлаждение плоскопараллельных концевых мер 2,154
Охлаждение сталей при закалке 2,292, 293
— — при нормализации 2,291
— — при обработке термической 2.320 — Охлаждающие среды для закалки 2,316—320 — Прокаливаемость сталей 2.313—316 — Режимы 2,309—313 — Фазовые превращения, их диаграммы 2,306—309
— — при отжиге 2,290, 291
— — при отпуске 2.293, 294
Очистка моющая 3,123
— — протиранием 3.123

П

Пайка 4,303 — Выбор величины зазоров 2,53
— Выбор основного металла 2,51, 52
— Выбор припоя 2,51
— Выбор способа нагрева 2,53
Пара винтовая — Допуски 1.344
Пара кинематическая — Линии действия реакций 1.34
— Определение реакций 1,34
— Понятие 1.18
— Схемы 1.19
Параметр потока 5,531
Параметрон 1.150
Параметры Ирвина 2,31, 32
Пасты абразивные 4.24
— — полировальные 4.97
— — притирочные для брусков хонинговальных 4.89
Патентирование 2,198
Патрон для завертывания шпилек с резьбой 4.211
— — кулачковый зажимной 4.395
Патрон токарный самоцентрирующийся двухкулачковый с боковым расположением центров 4.385
— — трехкулачковый клиновой с кольцевым пневмоприводом 4.385
— — трехкулачковый со встроенным пневмоприводом 4.388
— — трехкулачковый с реечной подачей кулачков 4.385
Патроны кулачковые переналаживаемые с тремя прихватами 4.396
Патроны стандартизированные самоцентрирующиеся двухкулачковые 4.392
— — клиновые 4.392
— — рычажно-клиновые 4,392
— — трехкулачковые 4.392, 393
— — четырехкулачковые 4,393
Патроны магнитные 4.410
— — мембранные 4,413 — Пластины 4,418 — Расчет усилия закрепления и выбор материала пластины 4.419
— — мембранные нестандартизированные 4.419
— — мембранные самоцентрирующиеся 4.415
— — цанговые к токарно-револьверным станкам 4.424
Патроны токарные
— Кулачки дополнительные 4,402
— Наладки 4.400, 401
— Нормы точности 4.403
— Погрешности базирования 4.406
— Погрешности установки заготовок 4.407, 408
— Расчет усилий на приводе 4.409
— Технические требования 4,397
— Точностные данные 4.397
— Устройства против самоотвинчивания 4.398
Паяемость 2.51
Паяные соединения 4,305
Пентагрид 1.150
Пентод 1.150
Передача винтовая — Применение 1.586 — Схема 1.587
— — гипоидная — Применение 1.586 — Схема 1.587
— — зубчатая — Контроль 1.693—698 — Типы 1.586—587
Передача зубчатая коническая — Допуск на толщину зуба 1,677—679
— Наименьший боковой зазор 1,676
— Наименьшее утонение зуба 1.677—679
— Нормы контакта зубьев 1,675
— Нормы кинематической точности 1.672—673
— Нормы плавности работы 1,673, 674
— Определение основных размеров 1.600—602
— Основные параметры 1.599
— Применение 1.586
— Проверочный расчет зубьев на изгиб 1.616—623
— Проектировочный расчет 1,623—627
— Расчет на контактную выносливость зубьев 1,607—615
— Расчет на прочность 1,603—607
— Схема 1.587
— Усилие в зацеплении 1.601, 608
Передача зубчатая ременная
— Выбор параметров 1,552

— Преимущества 1.549
— Применение 1.549
— Расчет 1.554
— Схема 1.549
Передача зубчатая цилиндрическая — Виды 1.587, 592
— Гарантированный зазор 1.659, 660, 666
— Обозначения 1.584
— Определение основных размеров 1.590, 591, 593—598
— Применение 1.586
— Пример проверочного расчета 1.627—631
— Проверочный расчет зубьев на изгиб 1.616—623
— Проектировочный расчет 1.623—627
— Расчет на контактную выносливость зубьев 1.608—615
— Расчет на прочность 1.603—607
— Схема эвольвентного зацепления 1.585, 592
— Усилия в зацеплении 1.598, 599
Передача клиноременная — Выбор параметров 1.521—523
— Преимущества 1.516
— Применение 1.516
— Пример расчета 1.546—548
— Расчет 1.523, 529—532
— Характеристика работы 1.520, 521
Передача клиноременная полуперекрестная 1.539, 540
— — с бесступенчатым регулированием скорости — см. *Вариаторы*
— — с вертикальными валами 1.539
— — с натяжными роликами 1.539
Передача планетарная — Влияние центробежных сил на выбор схемы 1.638
— Выбор некоторых параметров 1.638—640
— Кинематическая схема 1.627
— КПД 1.635, 636, 640, 641
— Общие сведения 1.633
— Передаточное отношение 1.635—638
— Схемы 1.635, 636
Передача плоскоклиноременная 1.540
Передача плоскоременная — Геометрические соотношения 1.505, 506
— Диаметры шкивов 1.493
— Межосевое расстояние 1.493, 494
— Особенности расчета 1.506
— Преимущества 1.505
— Расчет 1.495—505
— Схема 1.505
— Типы 1.489
Передача поликлиновая — Параметры 1.520—523
— Преимущества 1.516
— Применение 1.517
— Пример расчета 1.546—548
— Расчет 1.523, 529—532
Передача ременная — Геометрические зависимости 1.482, 483
— Долговечность 1.487, 488
— Классификация 1.481
— К. п. д 1.487—489
— Потери 1.488, 489
— Силовые зависимости 1.483—485
— Тяговая способность 1.486, 487
Передача ременная быстроходная — Виды 1.507, 508
— Выбор параметров 1.508
— Применение 1.506
— Расчет 1.508—510
— Требования 1.507
Передача цепная — Контроль 1.581
— Монтаж 1.579, 580
— Настройка 1.580
— Построение контуров 1.568—572
— Применение 1.556
— Расчет 1.566—568, 572—574
— Смазка 1.581, 583, 748, 749
— Способы смазки 1.581
Передача червячная — Геометрические параметры 1.643, 644, 646, 647
— Кинематика 1.643—645
— Контроль 1.693—698
— К. п. д. 1.647—649
— Нормы контакта зубьев 1.686
— Общие сведения 1.642, 643
— Основные параметры 1.641, 642
— Проверочный расчет 1.653, 654
— Проектный расчет 1.654—656
— Смазка 1.746
— Способы смазки 1.747
— Схемы 1.634, 642, 643
— Тепловой расчет 1.650
— Типы 1.643—645, 647
— Точность монтажа 1.686—688
— Усилия в зацеплении 1.
Переключатель электронно-лучевой — см. *Коммутатор электронно-лучевой*
Переход 5.8
Перцептрон 1.150
Печатные схемы 1.158
Питатели — Захваты — см. *Захваты питателей*
— Применение 5.298, 570
— Проектирование 5.301
— Схемы 5.299
— Точность работы 5.300
Питатели комбинированные 5.315—317, 434, 571
— — маятниковые 5.307
— — револьверные 5.307, 308
— — шиберные 5.301—307, 332
Питч 3.494
План сил — Построение 1.37, 38
— — скоростей — Построение 1.29—31 — Свойства 1.26, 27
— — ускорений — Построение 1.30—33 — Свойства 1.27
Планирование календарное 5.62, 63
— — оперативно-производственное 5.47
— — технико-экономическое 5.47
Пластина — Понятие 1.173
— Устойчивость 1.249
— Пластинотрон 1.150

Пластины измерительные стеклянные плоские 4.644
— — плоскопараллельные 4.644
Пластификаторы 2.600
Пластические массы — Классификация 2.599, 603 — Методы испытаний 2.601, 602 — Свойства 2.602, 603
— — термопластичные — см. *Термопласты*
— — термореактивные — см. *Реактопласты*
Пластмассы — см. *Пластические массы*
— Применение 1.566
— Способы переработки 3.117—122
Плиты поверочные 4.644
— — прямоугольные электромагнитные 4.458
— — разметочные 4.188
Плотность 1.60, 62, 63
Плюмбикон 1.150
Пневматические мембранные устройства (УСППА) 5.156—158
Пневмоника 5.158
Поверхность тока — Понятие 1.71
— — уровня — Понятие 1.68 — Свойства 1.68
Поверхности опорные 3.102, 103
Поводковые устройства стандартизированные 4.384
Погрешности базирования для различных схем установки и способов задания размеров 4.476, 477, 478
— — базирования для типовых случаев обработки в самоцентрирующихся зажимных устройствах 4.408
— — геометрической формы при отделочной обработке абразивным инструментом 4.80
— — геометрической формы при хонинговании 4.84, 86, 87
— — закрепления заготовки 4.488
— — положения заготовки 4.488
— — установки заготовки 4.476, 488—496, 499—503
— — установки заготовки в осевом направлении 4.407
— — установки заготовок прутковых и единичных в радиальном направлении 4.407
— — установки приспособлений 4.497—503
Подачи автоматические для листа 5.331
— — валковые 5.329
— — клещевые 5.330
— — револьверные 5.331, 332
— — ролико-клиновые 5.329
Подналадчики 5.381
Подобие потоков гравитационное — Понятие 1.81
— Условие 1.79, 81
— Гидродинамическое 1.80, 81
— Критерии 1.80, 81
Подпятники см. *Подшипники скольжения упорные*
Подтравливание металла 3.130
Подшипники качения — Выбор 1.392, 401
— Классификация 1.391, 392
— Классы точности 1.392
— Коэффициенты трения 1.421
— Моменты трения 1.420
— Осевая грузоподъемность 1.399—402
— Посадки 1.416, 417
— Предельная частота вращения 1.414—416
— Смазка 1.747
— Способы подвода смазки 1.417, 418
— Трение 1.421
— Углы контакта 1.402
— Уплотнения 1.417—420
— Эквивалентная нагрузка 1.393—399, 400
Подшипники скольжения — Гидродинамический расчет 1.438—444
— Конструкции 1.427—438
— Материалы 1.423—427
— Определение основных размеров 1.428—435
— Применение 1.427
— Пример расчета 1.444—445
— Проверочный расчет 1.422
— Трение 1.422
Подшипники скольжения редукторные — Применение 1.427 — Типичные конструкции 1.436
— — упорные — Расчет 1.437, 438 — Схемы 1.437
Подъемники 5.234
— — вибрационные 5.232, 233
— — толкающие 5.232, 233
— — цепные 5.232, 233
Позиционер 5.398—400
Позиция 5.8
Поковки — Допуски 3.43, 45—47
— Качество поверхности 3.41, 43, 45, 47
— Конструирование 3.48—55
— Механические свойства 3.41
— Припуски 3.43, 45, 47, 48, 51, 53
— Радиусы закруглений 3.51—53
— Способы получения 3.42—47
Поковки из цветных сплавов — Минимальная толщина полотна 3.52
— — кованые — Конструирование 3.48—50
— — получаемые в открытых штампах на молотах и прессах 3.48, 51
— — стальные — Припуски, допуски 3.51
— — штампуемые на горизонтально-ковочных машинах — Конструирование 3.53, 54
Покрытия металлические
— Нанесение 3.134
Ползучесть — Понятие 2.16
Полиамиды 3.603, 612—614
Полимеры 3.599, 600
Полировальные круги 4.96
Полировальные ленты 4.98
Полирование 4.80, 95

Полуавтоматы агрегатные — Выполняемые операции 5.494, 497
— Конструктивные разновидности 5.497—496
Полуавтоматы для сборки изделий многопозиционные 5.588, 591
— — однопозиционные 5,588
Полуавтоматы многошпиндельные — План и карта обработки детали 5.450 — Схемы обработки деталей 5.444, 445, 451
— — токарные — Классификация 5.432 — Метод превращения в автоматы токарные 5.434 — Методы обработки деталей 5.433 — Применение 5.431
Полутомпак 2.419
Порошки металлические — Методы получения 3.94
— Свойства 3.94
— Форма частиц 3.93, 94
Порошковая металлургия — Методы компактирования 3.93—97
— Методы механические, размол, распыление расплавов, распыление электродов 3.92
— Методы химико-металлургические, восстановление 3.91, 92
— Термическая диссоциация, гидрирование, дегидрирование, плазменное восстановление, электролиз 3.92
Посадки — Применение 3.714, 723—725
Потенциалоскоп 1.150
Потенциалоскоп с барьерной сеткой 1.150
— — с видимым изображением 1.151
Потери напора 1.81—93
Поток магнитный 1.111
Правило буравчика 1.111
— — внешней нормали 1.176
— — левой руки 1.111
— — параллелограмма 1.34
— — правой руки 1.111
Правка кругов абразивных 4.41, 44, 47
— — алмазных 4.48, 104
— — эльборовых 4.49, 103
Правка шлифовальных инструментов 4.41
— Инструмент 4.44, 45, 47, 48
— Способы 4.41, 42, 47, 48, 49
Предел выносливости 2.22, 24 — Обозначения 2.24 — Определение при испытании на усталость 2.24, 25 — Понятие 2.256
— — пропорциональности — Понятие 1.191
— — прочности — Понятие 1.190
— — текучести — Понятие 1.190
— — упругости — Понятие 1.190
Предел выносливости ограниченный — Понятие 1.24
Предел длительной прочности — Определение, понятие 2.18
Предел ползучести — Определение 2.16, 17
— — условный — Определение, понятие 2.17
Предел пропорциональности при кручении — Обозначение, определение 2.16
— — условный (при растяжении) — Обозначение, определение 2.14
Предел прочности при изгибе 2,22
— — при кручении истинный 2.20, 21
— — при растяжении 2.15
— — условный (относительный) 2.21
Предел текучести условный — Обозначение, понятие 2.13
— — условный при кручении — Обозначение, определение 2.20
— — условный при растяжении — Обозначение, определение 2.15
— — физический — Обозначение, понятие 2.13
— — физический при растяжении — Обозначение, определение 2.14
Предел упругости условный — Обозначение, понятие 2.13
— — при растяжении — Обозначение, определение 2.14
Преобразователи — Назначение 1.170
— Понятие 1.165
Преобразователи тока 4.232
Преобразователь изображения электронно-оптический 1.151
Пресс-форма для пластмасс 3.114, 121
— Материал 3.111
— Расчет размеров элементов 3.115, 116
— Стойкость 3.111
— Точность изготовления 3.117
Прессы для выполнения продольно-прессовых соединений при сборке 4.242—245
— — клепальные гидравлические переносные 4.292
— — кривошипные — Производительность 3.55
Приборы газонаполненные — Маркировка 1.139
— — газоразрядные см. *Приборы ионные электровакуумные*
— — ионные электровакуумные 1.151
— — ионные с аксиальным магнитным полем 1.151
— — магнетронного типа 1.151
— — магнетронного типа с продольным взаимодействием 1.151
— — М-типа — см. *Прибор магнетронного типа*
— — оптические 4.622
— — пневматические 4.625
— — полупроводниковые 1,137, 151

— — фотоэлектронный см. *Фотоэлемент*
— — Шора 2.37
— — электровакуумный 1.152
— — электронно-графический электровакуумный 1.152
— — электронно-лучевой 1.152
— — электронные 4.624
— — электронный электровакуумный 1.152
Приводы 5.185, 186
— — вакуумные 4.543
— — гидравлические 4.530, 536; 5.211
— — диафрагменные 4.533
— — механогидравлические 4.543
— — механизированные 4.528
— — пневматические 4.529, 532, 535, 540
— — поршневые 4.529, 532, 535
— — тиристорные 5.187
— — шаговые 5.458, 459
— — с шаговым двигателем и гидравлическим усилителем мощности 5.186
— — электрические 5.207, 209
— — электрогидравлические 5.186
— — электромеханические 4.543
Призмы 4.470
— — измерительные 5.391, 398
Примеси в стали — Влияние на структуру и свойства стали 2.65, 66
— Классификация 2.64
Принтоскоп 1.152
Припои — Метод оценки затекания в зазор 2.50, 55 — Метод оценки растекаемости 2.54 — Требования к ним 2.51
— — для сплавов твердых 2.184
— — на медной и медно-никелевой основах 2.401, 404—407
— — оловянно-свинцовые 2.395, 397—401
— — серебряные 2.401—403
Припуски на диаметр при бесцентровом шлифовании врезанием 4.65
— — на круглое шлифование в центрах 4.51
— — на обработку отливок 3.36
— — на обработку эльборовым инструментом 4.79
— — на суперфиниширование 4.92
— — на хонингование 4.84, 85
— — на шабрение отверстий 4.179
— — на шабрение поверхностей 4.179
— — на шлифование отверстий 4.68
Приспособления для базирования изделий 4.248
— — для вырезки прокладок 4.241
— — для доводки плоскостей деталей 4.136
— — для нагрева деталей 4.245
— — для охлаждения деталей 4.247
— — для развальцовки трубок 4.240
— — для сборки машин 4.238
— — для центрирования втулок подшипников скольжения при сборке 4.337
— — контрольные 5.416
— — применяемые при сборке 4.238
— — специальные 4.469
— — станочные универсальные 4.381
— — цанговые 4.423
Притирка колес зубчатых цилиндрических 3.542, 543 см. *Зубоотделочные процессы*
— Методы 3.542
— Назначение 3.542, 543
— Режимы 3.542, 543
Притиры 3.542
— — для доводки поверхностей 4.122, 131, 140, 141
Проба валиковая — см. *Валиковая проба*
Пробивка 3.68—71
— Точность деталей 3.71, 72
Пробка пневматическая 5.390, 391
Проводимость 1.107
Проволока пружинная — Классы 1.704
— Марки материала 1.704
— Механические свойства 1.702, 703
Проволока пружинная термически обработанная — Стали для изготовления 2.203 — Характеристики механических свойств 2.203
— — холоднодеформированная — Материал для изготовления — Отпуск 2.201 — Характеристики механических свойств 2.199
Программирование линейное — Симплекс-метод 5.55—57 — Система линейных уравнений 5.53—55
Производительность станочных операций — Расчетные формулы 4.370
Производство — Типы 5.9
Производящая функция 5.12, 13
Прокаливаемость стали 2.313 — Способы определения 2.313—315
Прокат — Виды, назначение 3.55, 56
Прокатка порошка 3.94, 95, 98
Просечки комбинированные 4.202
— — цельные 4.201
Протягивание — Режим резания 3.33
— Схемы резания 3.329, 333
— Усилие тяговое станка 3.331
Протяжки — Режущий периметр зубьев 3.333
Протяжки внутренние — Длина 3.332
— Калибрующая часть 3.332
— Основные типы 3.325
— Передняя замковая часть 3.324, 327, 328
— Передняя направляющая часть 3.324
— Переходная часть 3.332

— Расчетные формулы 3.331
— Режущая часть 3.329, 332
— Толщина среза 3.329, 330
— Условия прочности 3.331
— Форма зубьев 3.329
— Форма и размеры шейки 3.324
— Центрирование и направление 3.331
— Число зубьев 3.331, 332
— Шаг зубьев 3.331
Протяжки наружные 3.332, 333
Профили неэвольвентные
— Обработка по методу обкатки 3.581—664
— — прессованные 3.57
Профилирование 3.581
Процесс технологический — Оптимизация 5.51—53 — Понятие 5.8
— — автоматизированный — Выбор 5.15—22 — Классификация 5.18 — Предварительное проектирование 5.14 — Примеры 5.19
Процессор 5.527
Процессы зубоотделочные — см *Зубоотделочные процессы*
Прочность при переменных напряжениях
— Влияние качества обработки поверхности 1.265
— Влияние концентрации напряжений 1.259—265
— Влияние размеров детали 1.265, 266
— Расчет 1.266—268
Прочность стали конструктивная 2.322 — *Критерии оценки* 2.30—32
Пружины — Группы 1.703, 705
— Допускаемые напряжения 1.701
— Материалы 1.701
Пружины витые — Классификация 1.705, 706 — Конструкция 1.705 — Режимы термообработки 1.701 — Технологический процесс изготовления 1.706
— — плоские спиральные — Изготовление 1.721, 722 — Применение 1.721 — Расчет 1.722 — Характеристики 1.722, 723
— — прорезные — Изготовление 1.723 — Расчет 1.724
— — тарельчатые — Изготовление 1.727 — Расчет 1.728 — Схема 1.727
— — фасонные витые — Применение 1.718, 719 — Расчет 1.719—721 — Схемы 1.718, 719
— — фигурные гнутые — Расчет 1.723 — Схемы 1.723
— — цилиндрические винтовые — Геометрия 1.707 — Конструкции 1.712—715 — Расчет 1.707—712, 715—718
Пьезотранзистор 1.152
Пьезотранзистор полевой 1.152

Р

Работа — Определение 1.47 — Понятие 1.47
— — затрачиваемая на зарождение трещины 2.29
— — затрачиваемая на развитие трещин 2.29, 32
— — излома 2.51
— — сил тяжести 1.48
Радикон — см. *Потенциалоскоп с барьерной сеткой*
Радиусы закруглений на поковки 3.54
Радиус кривизны — Зависимость от геометрии сечения 1.232
— Значения 1.232
Развертки — Исполнительные размеры 3.278
— Конструкции 3.277—295
— Материалы 3.293
— Назначение 3.292
— Размеры 3.288
— Размеры элементов профиля зуба 3.281
— Параметры геометрические 3.278, 279
— Эксплуатация 3.295
— Элементы конструктивные 3.278, 279, 289—292
— Шероховатость поверхности 3.282
Развертки с пластинами из твердого сплава 3.283—285
— — упорно-цилиндрические 3.338, 342
Развертывание 3.277
— Жидкости смазочно-охлаждающие 3.293, 294
— Момент крутящий 3.295
— Подача 3.294, 295
— Режимы резания 3.295, 296
Размеры линейные — Допуски 3.671 — Ряды 3.666—670
— — дополнительные 3.671
Разметка 4.188
— Инструмент 4.189
— Плиты — 4.188
— Отклонения от плоскостности рабочих поверхностей 4.188
— Подготовка поверхности деталей 4.190
— Приспособления 4.189
Разметочные плиты 4.188
Разрядник газовый (ионный) 1.152
— — искровой 1.152
Раскатник 3.491
Раскатывание резьбы внутренней 3.490, 491
— — отверстий 4.338 — Режимы 4.350
Раскрой листа на полосы 3.61, 62, 65
— Размеры перемычек 3.63, 64
— — полосы 3.61, 62, 65
Рассверливание — Выбор подачи 3.245, 255
— Режимы резания 3.251—253, 255
— Формулы для расчета силы резания 3.258, 260

Растачивание 3.297 — Инструменты 3.297—310
Расход — Определение 1.71
— Понятие 1.71
Расход весовой — Определение 1.72
— — массовый — Определение 1.71
— — объемный — Определение 1.71
Рашпили 4.177
Реактопласты — Качественная оценка, методы переработки, назначение 2.618—627
— — высокой прочности — Изменение свойств под влиянием внешних факторов 2.666—667
— Физико-механические свойства 2.662—666
— — низкой прочности — Изменение свойств под влиянием внешних факторов 2.648 — Физико-механические и теплофизические свойства 2.621—645
— — средней прочности — Изменение свойств под влиянием внешних факторов 2.660, 661
— Физико-механические и теплофизические свойства 2.658, 659
Редуктор планетарный — Определение степеней свободы 1.21
— Схема 1.21
Режим ламинарный — Понятие 1.81 — Схема формирования потока 1.82 — Характеристики 1.82, 83
— — турбулентный — Поле скоростей 1.84 — Понятие 1.81 — Характеристики 1.84—86
Резервирование 5.13
Резервуар с жидкостью — Вращение 1.69, 70
— Перемещение с поступательным ускорением 1.69, 70
— Поступательное перемещение 1.68, 69
Резисторы — Классификация 1.131
— Маркировка 1.130
— Материалы 1.131
— Номинальная емкость рассеяния 1.130
— Типы 1.131, 132
Резистор полупроводниковый 1.152
Резка металла 4.169
Резнатрон 1.152 — Резьба 1.272
— Гарантированный зазор 1.336, 337
— Гарантированный натяг 1.337—342
— Геометрические зависимости 1.316
— Основные параметры 1.315, 317
— Погрешности 1.317, 318
— Профиль 1.272
— Расчет на прочность 1.287
Резцы — Доводка и заточка 4.106, 107
Резцы долбежные — Типы 2.357
— — регулируемые 3.360
Резцы зуборострогальные 3.558, 559
Резцы обкаточные — Конструкция 3.654 — Назначение 3.652
— Применение при зуботочении 3.519
— Принцип действия 3.652, 653
— Режимы резания 3.664
— — для зубчатых деталей 3.654—656
Резцы расточные 3.297, 298, 307 — Размеры 3.300—303
— Способы крепления 3.297 — Установка 3.298
— — для КРС 3.339—341
Резцы резьбовые 3.444, 445
Резцы строгальные — Геометрические параметры 3.357, 358 — Геометрия режущей части 3.360 — Типы 3.356
— — вращающиеся — Основные параметры 3.361
— — нестандартные 3.354, 355
— — чистовые вращающиеся 3.362, 355
Резцы токарные 3.184—204
— Выбор сечения стержня 3.184
— Геометрические параметры 3.187—192
— Износ 3.187, 195
— Пластины 3.184, 185
— Стержни 3.184
— Установка 3.187, 196
Резцы токарные державки многорезцовой 3.170
— — для гидросуппортов 3.174, 197
— — для обработки вольфрама 3.192
— — для обработки деталей с использованием копиров 3.174, 175
— — для обработки конусов 3.176—178
— — для обработки поверхностей сферических и фасонных 3.178, 179
— — для точения сплавов титановых 3.192
— — для точения стали закаленной 3.191
— — для точения тонкого 3.200
— — из стали быстрорежущей 3.184, 188, 189
— — с пластинами неперетачиваемыми 3.184—186, 195
— — с пластинами твердосплавными 3.184, 188, 189, 193, 194, 203
Резьба — Выбор метода изготовления 3.440
— Интервал шагов 3.440, 442
— Недорез 3.441
— Сбег и зазор гарантированный 3.442
— Сортамент 3.442
— Точность 3.440, 441
Резьба коническая — Профиль 1.274
— — коническая дюймовая — Применение 1.278

— Профиль 1.278, 281 — Размеры 1.281
— — круглая — Применение 1.278 — Профиль 1.278
Резьба метрическая — Допуски 1.321, 334
— Обозначения 1.272
— Размеры 1.272—274
Резьба метрическая с крупным шагом — Применение 1.278 — Размеры 1.275
— — с мелким шагом — Применение 1.278 — Размеры 1.275
Резьба прямоугольная — Применение 1.287
— Профиль 1.287
Резьба трапецеидальная — Длина свинчивания 1.351
— Допуски 1.349, 350
— Применение 1.282
— Профиль 1.282, 283
— Размеры 1.283, 284
— Рекомендуемые замены допусков 1.346—348
— Схема расположения полей допусков 1.345, 351
Резьба трубная коническая — Профиль 1.278, 280 — Размеры 1.280
— — цилиндрическая — Предельные отклонения 1.343 — Применение 1.278 — Профиль 1.278, 279 — Размеры 1.279
Резьба упорная — Длина свинчивания 1.354
— Допуски 1.353
— Применение 1.282
— Профиль 1.282, 285
— Размеры 1.285, 286
— Схема расположения полей допусков 1.352, 354
Резьба цилиндрическая — Профиль 1.274
Резьбовые соединения
— Затяжка 4.269, 279
— Классификация 4.269
— Постановка шпилек 4.275
— Завинчивание
— Моменты 4.276, 278
— Инструменты 4.277
— Стопорение — Способы 4.280
Резьбообразование 3.440—491
— Выбор метода 3.440
— Профиль инструментов резьбообразующих 3.443
— Размеры заготовок под резьбу 3.475—477
— Режимы 3.477—484
Резьборезы пневматические 4.230
— — электрические 4.229
Реле времени 5.162
— — пневматическое шариковое 5.156, 157
Реле электрическое магнитоэлектрическое — Принцип действия 5.162
— — моторное — см *Реле времени*
— — поляризованное — Конструкция 5.161 — Принцип действия 5.161, 162
— — электромагнитное — Конструкция 5.160, 161 — Эксплуатационные данные 5.161
— — электронное — Классификация 5.162
Ремни — Напряжение 1.485, 486
— Натяжение 1.555
— Предварительная вытяжка 1.491, 493
— Способы натяжения 1.482
— Схемы контроля натяжения 1.485
— Эксплуатационные характеристики 5.492
Ремни зубчатые — Конструкция 1.549 — Размеры 1.549, 550
— — клиновые — Конструкции 1.517 — Передаваемая мощность 1.524—526 — Размеры 1.518, 519 — Типы 1.517
— — кожаные 1.490, 491
— — поликлиновые — Конструкция 1.520 — Передаваемая мощность 1.527 — Размеры 1.519, 520
— — прорезиненные 1.490
— — текстильные 1.491
Ремонтопригодность 5.532
Рифление 5.440
Роботы промышленные — Захватные устройства 5.341, 342
— Информационные системы 5.335—337
— Классификация 5.336, 337
— Основные компоновки 5.338, 339
— Подготовка производства к применению 5.376—379
— Показатели и элементы конструкции 5.338—340
— Понятие 5.334
— Применение 5.366—375, 598
— Системы управления 5.334, 340, 343, 347
— Структурная схема 5.335
— Технические данные 5.348—355
Ролики натяжные — Применение 1.555
— — цилиндрические — Параметры 3.178, 182
Роликоподшипники конические однорядные 1.408, 409
— — радиальные с короткими цилиндрическими роликами 1.410, 411
РТМ 38-40528—71 1.520, 539, 546, 547, 51-15-51—70 1.518, 519, 546, 547
Ряды предпочтительных чисел 1.16

С

Самоиндукция 1.111
Самоприспосабливающиеся системы — см *Системы самоприспосабливающиеся*
Санатрон 1.153
Сборка — Автоматическое оборудование — см. *Автоматическое оборудование для сборки*

Автоматы — см. *Автоматы для сборки*
Сборка автоматическая — Базирование деталей 5.577—579
— Вспомогательные операции 5.568
— Выбор рациональной жесткости технологической системы 5.584
— Загрузка деталей 5.568—571
— Закрепление сборочных элементов 5.573, 574
— Контроль комплектности и качества сборочных единиц 5.574
— Методы 5.564
— Оборудование 5.586—598
— Оптимизация технологических процессов 5.566, 567
— Основные операции 5.568
— Относительное ориентирование сборочных элементов 5.571, 572
— Погрешности относительного ориентирования деталей 5.577—583
— Построение технологического процесса 5.562
— Силы, возникающие при соединении деталей 5.583, 584
— Сопряжение сборочных элементов с заданной точностью 5.572, 573
— Технологичность конструкции 5.562—564
— Типовые технологические процессы 5.565, 566, 568
— Транспортирование объекта сборки на позиции автомата и съем изделия 5.574—576
— Условия собираемости 5.583
Сборка автоматическая селективная — Применение 5.564
— Сущность 5.564, 565 — Схема контрольно-сортировочного автомата 5.565
— — с применением адаптивных систем 5.585
— — с применением компенсаторов 5.565
Сборка машин
— Автоматизация работ 4.249
— Виды работ 4.193
— Загрузка 4.199
— Инструмент 4.200
— Машины ручные для слесарно-пригоночных работ 4.214
— Оборудование для нагрева деталей 4.245
— Оборудование для охлаждения деталей 4.247
— Оборудование и устройства вспомогательные 4.232
— Организация работ 4.196
— Оргоснастка рабочих мест 4.235
— Приспособления 4.238
— Производительность — 4.199
— Реконструкция 4.261
— Ритм поточной сборки 4.199
— Станки 4.239, 240
— Технологический процесс 4.198
— Технологические процессы узловой и общей сборки 4.192, 195
— Основы разработки 4.253
— Технологические процессы типовые и групповые 4.262
— Технологичность конструкции 4.346
— Точность 4.194, 195
— Трудоемкость 4.194
— Цикл поточной сборки 4.199
Сборка соединений машин — Классификация 4.269
Сборка соединений машин заклепочных 4.290
— — зубчатых конических передач 4.312—321
— — зубчатых цилиндрических передач 4.313
— — неподвижных конических 4.286
— — опор с подшипниками качения 4.327
— — опор с подшипниками скольжения 4.334
— — резьбовых 4.269
— — с гарантированным натягом 4.292
— — червячных передач 4.312, 324
— — шлицевых 4.285
— — шпоночных 4.281
Сборочные единицы — Классификация 5.566
Сборочные линии с непрерывным перемещением собираемого объекта 5.596, 597
Свариваемость 2.45 — Методы оценки 2.45—51
Сварка сталей высокопрочных 2.223 — Виды 2.224
— Методы предотвращения сварных трещин 2.224
— — коррозионно-стойких 2.227
Сварные соединения 4.303
Сверла 3.228 — Диаметры рекомендуемые 3.238—241
— Допуски на диаметры 3.237
— Заточка 4.107
— Конус обратный 3.235
— Направление сбега стружки 3.234
— — перовые 3.232 — Подточка поперечного лезвия 3.235—237 — Размеры 3.235
— — спиральные 3.232, 242, 244, 246 — Форма заточки 3.233 — Угол при вершине 3.233, 234 — Типы 3.242—246 — Углы режущей части 3.227, 231, 232, 235 — Форма заточки 3.242
— — центровочные 3.249 — Наборы типовые и области применения 3.251
Сверла для глубоких отверстий 3.247, 248
— — двустороннего резания — Размеры 3.246—248 — Типы 3.247
— — одностороннего резания 3.247, 248
— — шпиндельные (перовые) 3.247 — Размеры 3.250

Сверление — Подачи 3.253, 254
— Режимы резания 3.251—254
— Режимы резания пластмасс 3.258
— Силы резания 3.258, 260
— Скорость резания 3.254, 255
Светодиод полупроводниковый 1.153
Связи пассивные (избыточные) — Определение 1.20
— *Понятие* 1.20
— Применение 1.20
Связка абразивных инструментов 4.14, 38
— — бакелитовая 4.15
— — вулканитовая 4.15
— — глифталевая 4.16
— — керамическая 4.15, 39
— — магнезиальная 4.16
— — металлическая 4.39, 40
— — органическая 4.39, 40
— — поливинилформалевая 4.16
— — силикатная 4.16
Сдвиг относительный 2.20
— — при кручении — Обозначение, определение 2.21
Себестоимость и показатели экономичности принимаемого технического решения 4.558
Себестоимость приспособлений специальных — Нормативы укрупненные 4.369
Себестоимость продукции — Снижение 5.23
Сегменты шлифовальные 4.20
Селектрон 1.153
Сечение бруса — Форма 1.185—189
— Характеристики 1.181, 185—189
— — потока — Понятие 1.71
Сила воздействия потока на анкерную опору 1.104
— — на криволинейную стенку 1.106
— — на ограничивающие стенки 1.103, 104
— — на плоскую стенку 1.105, 106
Сила инерции — 1.40, 41
— — критическая — Определение 1.241—243
— — *приведенная* 1.49
— — противоэлектродвижущая 1.116
— — реакции струи 1.104
— — тяжести 1.40
Силицирование 2.365, 368, 565, 566
— Методы, характеристики 2.367
Силы — Разложение 1.33
— Сложение 1.33—35
— Условия равновесия 1.36
Силы давления на криволинейную стенку 1.66, 67
— — на плоские стенки 1.65, 66
Синхроскопы 5.205
Системы автоматизированного программирования — Применение 5.198
— Программы-алгоритмы 5.198
Системы автоматизированные — Конструктивное исполнение 5.556—561
— Назначение 5.552
— Оптимальные условия работы 5.553—556
— Секционное построение 5.554—556
— Системы программно-математического обеспечения 5.552
— Структура 5.552
Системы автоматического контроля 5.11
Системы автоматического управления — Автоматическое деление 5.211—213
— Включение и выключение 5.200—204
— Регулирование частот вращения 5.206—211
— Торможение и синхронизация 5.204—206
Система геометрически изменяемая — Понятие 1.18 — Применение 1.18
Система геометрически неизменяемая — Определение 1.21 — Применение 1.21
— — **статически неопределимая** — Понятие 1.20, 226 — Расчет 1.226—229
— — **электропривода** — Выбор 1.125, 126 — Определяемые факторы 1.124, 125 — Понятие 1.124
Система допусков и посадок ОСТ 3.673, 714, 715—721
Система единая допусков и посадок СЭВ (ЕСДП СЭВ) 3.666, 671, 673
— Квалитеты 3.666, 671, 672
— Наборы основных отклонений 3.673
— Отклонения предельные валов и отверстий 3.674—687, 690—698, 700—713
— Посадки рекомендуемые 3.676—707
Системы адаптивные — см. *Системы самоприспосабливающиеся*
Системы механические — Классификация 1.18
Системы нечислового программного управления — Понятие 5.169 — Принцип действия 5.170
— — временные 5.169
— — комбинированные 5.169, 170
— — кулачковые 5.169, 170
— — путевые 5.169
Системы механические — Классификация 1.18
— Понятие 1.18
Системы программно-математического обеспечения (СПМО) 5.552, 553
Системы самоприспосабливающиеся — Оптимизация управления 5.487
— Применение 5.487, 561, 585

— Примеры использования 5.489—493
— Принципы работы 5.487
Системы самоприспосабливающиеся с регулированием оптимальным 5.88
— — предельным 5.488
Системы технологической подготовки производства (СТПП) — 5.553
Системы управления — Классификация 5.169—171
— Назначение 5.168
— Понятие 5.167
— Структура 5.167, 168
— Характеристики 5.168
Системы управления автоматизированные (АСУ) — Назначение 5.46 — Понятие 5.46 — Преимущество 5.46
— — предприятием (АСУП) — Обеспечивающие подсистемы 5.49 — Понятие 5.46 — Преимущества 5.46, 47 — Функциональные подсистемы 5.47
Системы управления замкнутые 5.170, 171
— — комбинированные 5.170
— — многоинформационные 5.475—477
— — путевые 5.171, 172
— — разомкнутые 5.170
Системы управления от копиров гидравлические 5.177, 178
— — комбинированные 5.178
— — непрямого действия 5.175
— — прямого действия 5.174
— — с золотниками 5.177, 178
— — электрические 5.178, 179
Системы управления от кулачков — Командоаппараты 5.172 — Принцип действия 5.172 — Программирование 5.172—174
— Функциональные схемы 5.173
— — с распределительным валом (СУРВ) 5.172
Системы циклового программного управления (ЦПУ) — Блок-схема 5.180, 181
— Классификация 5.180
— Основные характеристики 5.486
— Понятие 5.169
— Преимущества 5.480
— Применение 5.480
— Принцип действия 5.170
— Программирование обработки на станках с ЦПУ 5.183, 184
— Функциональная схема 5.480, 486
Системы числового программного управления (ЧПУ) — Виды 5.460, 462, 463
— Выполняемые операции 5.456
— Классификация 5.188, 455, 456, 458
— Методы измерения 5.458
— Понятие 5.169
— Преимущества 5.184
— Принцип действия 5.170, 184, 185, 455
— Программирование обработки на станках с ЧПУ 5.197—199
— Системы кодирования 5.458, 43
— Схемы типовые 5.184, 185
— Технологические возможности 5.455
— Увеличение точности обработки 5.456
— Форма программ 5.458
— Элементы 5.456, 458
Системы числового программного управления комбинированные 5.191, 192, 194
— — контурные 5.190—192, 194
— — многосчетные 5.196
— — позиционные 5.188—191
— — прямого управления 5.197
— — прямоугольные 5.190
— — с абсолютным отсчетом 5.193
— — самоприспосабливающиеся 5.195, 196
— — с комбинированным отсчетом 5.194
— — с магнитной лентой 5.192, 193
— — с относительным отсчетом 5.194
— — с переменной структурой 5.196, 197
— — с постоянной структурой 5.196, 197
Ситаллы 2.673 — Характеристики свойств 2.674
Склантрон 1.53
Склеивание 4.310 — Режимы 4.311
Скобы двухконтактные 5.386
— — навесные 5.386, 390
— — трехконтактные 5.386, 390
Скорость местная — Понятие 1.72
— — средняя — Определение 1.72 — Понятие 1.72
— — струи — Определение 1.97
— — точки — Определение 1.23—26 — План 1.27
Слесарные работы 4.168
— Восстановление режущих свойств напильников 4.177
— Зачистка и полирование поверхности 4.180
— Опиливание 4.170
— Разметка 4.188
— Резка 4.168
— Рубка 4.169
— Шабрение 4.179
Слитки — Схема и время нагрева 3.37
Смазка разделительная 3.128
Смазки пластичные — Основные функции 1.742
— Физико-химические свойства 1.739—742
— — твердые — Выбор 1.742 — Номограммы 1.745, 746, 748 — Физико-химические свойства 1.742, 744
Смазочно-охлаждающая жидкость — Фильтрация 4.77
Смазывающе-охлаждающие жидкости при заточке инструментов 4.105
Соединения деталей в машинах —

см. под названием каждого из них, например *Пайка, Резьбовые соединения*

Соединения зубчатые (шлицевые) — Конструкции 1.380
— Расчет 1.382, 383, 390
— Типы 1.380, 381
Соединения зубчатые (шлицевые) прямобочные
— Конструкция 1.380 — Обозначение 1.381, 387
— Основные размеры 1.384, 385 — Поля допусков 1.386 — Центрирование 1.380, 381
— — треугольные — Применение 1.381
— — эвольвентные — Параметры 1.388, 389 — Центрирование 1.381
Соединения полные — Выбор 2.53, 54
— Металлографические исследования 2.57
— Определение механических свойств 2.56, 57
— Факторы, влияющие на качество 2.51
Соединения приемников энергии 1.110
Соединения резьб — Допуски 1.319—321
— Расчет 1.287
— Способы стопорения 1.294
— Характер сопряжения 1.318, 319
Соединения сварные 4.303 — Испытания на вязкость разрушения 2.51
— Испытания на статический изгиб надрезанных образцов 2.50, 51
— Испытания на ударный изгиб 2.51
— Критерий и методы его сопротивления образованию горячих трещин 2.47—49
— Определение сопротивления образованию холодных трещин 2.49
— Определение механических свойств 2.46, 47
— Причины хрупкого разрушения 2.50
Соединения с гарантированным натягом 4.292
— Гидропрессовая сборка 4.298
— Разборка с натягом 4.302
— Сборка продольной запрессовкой 4.297
— Сборка с нагревом 4.300
— Сборка с охлаждением 4.301
— Сборка с термовоздействием 4.299
Соединения шпоночные — Расчет 1.373, 380
Сопло эжекторное 5.155
Сопротивление временное — Обозначение, понятие 2.13
— — при растяжении — Обозначение, определение 2.15
Сопротивление истинное разрыву — Обозначение 2.15
— Определение 2.15
— Понятие 2.15
Сопротивления местные — Группы 1.87, 88
— Понятие 1.87
— — напряженные — Виды 1.178 — Главные оси 1.175 — Понятие 1.175 — Расчет на прочность 1.229 — Расчетные формулы 1.230, 231
— — электрические 1.107 — Состояние деформированное — Характеристики 1.179
Сортамент болванок, заготовок, профилей, прутков 2.674—681
— — листов, лент, полос 2.682—689
— — проволоки 2.690—698
— — труб 2.699, 700
Сортировочные устройства 5.596—598
Спейсистор 1.153
Спиратрон 1.153
Сплавы алюминиевые деформируемые 2.465
— Коррозионная стойкость 2.465, 468, 472, 479, 483
— Марки, состав 2.466, 470, 473, 477, 480, 482
— Назначение 2.465, 468, 472, 479, 483
— Обработка термическая 2.468, 473, 478, 479, 483
— Полуфабрикаты 2.465, 467, 469, 472, 478, 484, 486
— Пределы длительной прочности и ползучести 2.482
— Характеристики механических свойств 2.465, 467, 468—471, 474—478, 484—486, 488
Сплавы вольфрамовые 2.560, 561
Сплавы жаропрочные — Классификация 2.245
— — на железно-никелевой основе 2.254, 255 — Назначение 2.254 — Пределы длительной прочности и ползучести 2.255
— — на кобальто-никелевой основе 2.257 — Марки, пределы длительной прочности, состав 2.259
— — на никелевой основе 2.254, 255 — Назначение 2.256 — Обработка термическая 2.256 — Полуфабрикаты 2.256 — Пределы длительной прочности и ползучести 2.257
Сплавы коррозионностойкие (кислотостойкие) — Марки, состав 2.244 — Обработка термическая 2.244 — Применение 2.186, 243
Сплавы магниевые — Назначение 2.507
— — в чушках — Марки, состав 2.508

— — деформируемые — Марки, состав, полуфабрикаты, назначение 2.518, 519 — Обработка термическая 2.517 — Характеристики свойств 2.515, 516, 520, 521
— — литейные — Марки, состав, назначение 2.509, 510 — Обработка термическая 2.513 — Характеристики свойств 2.509—514
— — сверхлегкие 2.521 — Марки, состав, назначение 2.522 — Свойства 2.521
— — со специальными физическими и химическими свойствами 2.455 — Марки, состав, назначение 2.456 — Характеристики свойств 2.457, 458

Сплавы магнитно-мягкие — Марки, состав, основные характеристики 2.263 — Назначение 2.262, 266 — Обработка термическая 2.264, 265 — Характеристики магнитных свойств 2.264, 265
— — магнитно-твердые 2.266, 268 — Марки, состав, магнитные свойства 2.267, 269, 270 — Обработка термическая 2.266, 268 — Полуфабрикаты 2.268, 269
— — медноникелевые 2.441 — Марки, состав, назначение 2.442, 443 — Характеристики свойств 2.444—446 — Полуфабрикаты 2.448
— — молибденовые 2.556, 557
— — никелевые — Марки, состав, назначение 2.456 — Полуфабрикаты 2.455, 458 — Характеристики свойств 2.457 458

Сплавы медные жаропрочные 2.459 — Марки, состав, назначение 2.460 — Режимы обработки, типы, полуфабрикаты 2.461 — Характеристики свойств 2.462, 463
— — ниобиевые 2.550, 551

Сплавы пружинные 2.194, 195 — Классификация 2.208
— — высокоэлектропроводные 2.215
— — коррозионностойкие 2.208, 210 — Марки, состав 2.209 — Режимы обработки 2.213
— — немагнитные 2.210, 211 — Марки, состав, характеристики механических свойств, обработка термическая 2.212 — Режимы обработки 2.213
— — с низким температурным коэффициентом — Модуль упругости 2.213, 215 — Марки, состав, характеристики механических свойств, режимы обработки 2.214

Сплавы с высоким электрическим сопротивлением — Назначение 2.274 — Марки, состав 2.274 — Характеристики свойств 2.275—277
— — с заданным температурным коэффициентом линейного расширения — Классификация 2.271 — Марки, состав, термическая обработка сплавов с минимальным ТКЛР 2.270 — Марки, характеристики свойств сплавов с заданным ТКЛР 2.273—274 — Назначение 2.271
— — с особыми физическими свойствами — Виды 2.259 — см. также под их названиями, например: *Сплавы магнитно-мягкие*; *Сплавы с высоким электрическим сопротивлением*
— — танталовые 2.553

Сплавы твердые 2.178, 179 — Марки СССР, обозначение, характеристики 2.179, 180 — Припои 2.184 — Флюсы 2.185 — Характеристики эксплуатационных свойств 2.181, 182
— — нестандартные — Характеристики 2.183

Сплавы титановые 2.530, 547 — Коррозионная стойкость 2.533
— Легирующие элементы 2.531, 533, 534
— Марки, состав 2.534, 535
— Назначение 2.547
— Обработка термическая 2.537

Сплавы цветные — Температура ковки (штамповки) 3.40
Сплавы цинковые антифрикционные 2.503
— Марки, состав 2.505 — Назначение 2.504, 506 — Характеристики свойств 2.504, 505
— — для литья под давлением — Марки, состав, назначение 2.502

Способ Верещагина 1.216, 217, 226
— — Серенсена и Кинасошвили 1.258, 259

Спуски винтовые 5.218, 219
— — зигзагообразные 5.219
— — змейковые 5.214, 215
— — прямые 5.217, 218
— — ступенчатые 5.215
— — цепные 5.215, 217

Средства автоматизации 5.138
Средства активного контроля — Преимущества 5.410
— — при обработке на внутришлифовальных станках 5.401—405
— — при обработке на круглошлифовальных станках 5.386—401
— — при обработке на плоскошлифовальных станках 5.405—411

Стабилизаторы 2.600
— — напряжения газовый (ионный) — см. *Стабилитрон ионный*
Стабилитрон ионный 1.153
— — полупроводниковый 1.153, 154
Стабиловольт — см *Стабилитронионный*
Сталь — Температура ковки (штамповки) 3.39
Стали бесперлитные 2.93
— — быстрорежущие — см. *Стали инструментальные теплостойкие высокой твердости*
Стали высокопрочные 2.215
— Назначение 2.216, 218 — Обработка термическая 2.218, 219 — Сварка и соединения сварные 2.223, 224 — Требования при конструировании и разработке технологии 2.220—223
— — интенсивно стареющие (мартенситностареющие) — Азотирование 2.226 — Обработка термическая, состав 2.225, 226
— — коррозионностойкие — Обработка термическая 2.227, 228 — Технология изготовления 2.226 — Состав 2.226, 228 — Характеристики механических свойств 2.226—228
— — среднелегированные 2.215, 221, 223 — Марки свойств 2.217
Стали для отливок — Варианты технологического процесса 2.136
— Влияние состава на свойства 2.139, 141
— Диаграмма железо—углерод 2.137
— Классификация 2.137, 139
— Литейные свойства 2.135, 136
— Марки состав 2.144, 145
— Обработка термическая 2.142, 146
— Способы выплавки 2.138, 139
— Характеристики свойств 2.140
— — высоколегированная 2.147 — Классы, назначение 2.147
Стали жаропрочные — Классификация 2.245
— — аустенитные — Марки, обозначение 2.250, 251 — Назначение 2.254 — Обработка термическая 2.251, 252 — Пределы ползучести и длительной прочности 2.253
— — мартенситно-ферритные — Назначение, обработка термическая 2.246
— — мартенситные — Назначение 2.246 — Пределы длительной прочности и ползучести 2.248, 249
— — перлитные — Назначение 2.250 — Пределы ползучести и длительной прочности 2.248, 249 — Характеристики механических свойств 2.247
Стали инструментальные
— Классификация 2.143, 148 — Назначение 2.143, 175—178 — Состав 2.143
— — нетеплостойкие высокой твердости 2.148—155
— — нетеплостойкие повышенной вязкости 2.155—159
— — полутеплостойкие высокой твердости 2.159—162
— — полутеплостойкие повышенной вязкости 2.162, 163
— — теплостойкие высокой твердости 2.164—171
Стали конструкционные автоматные — Марки, обозначение, составы 2.125, 126 — Назначение 2.101, 124 — Обработка термическая 2.106—118 — Характеристики механических свойств 2.121, 128
— — для криогенной техники 2.132 — Марки СССР, обозначения, состав 2.132, 133 — Назначение 2.132 — Обработка термическая 2.84, 90, 106—118 — Требования 2.132 — Характеристики механических свойств 2.134
— — легированные — Классификация 2.100 — Марки, состав 2.102—105 — Технологические свойства 2.120—123 — Характеристики механических свойств 2.106—119
— — листовые углеродистые и низколегированные, работающие под давлением 2.129 — Марки, обозначения, состав 2.129
— — низколегированные 2.93 — Характеристики механических свойств 2.96—99
— — северного исполнения 2.129 — Марки, характеристики 2.130, 131 — Назначение 2.132 — Требования к ним 2.129
— — углеродистые качественные конструкционные 2.86—93
— — углеродистые обыкновенного качества 2.73—85
Станки автоматизированные — Жесткость 5.423
— Испытания 5.421, 422
— Контроль 5.421, 422
— Методы повышения производительности 5.419—421
— Монтаж 5.425
— Понятие 5.418
— Смазочно-охлаждающие жидкости 5.420
— Средняя точность 5.424
— Теоретическая производительность 5.419
— Транспортеры для удаления стружки 5.421

— фактическая производительность 5.419
— Штучная производительность 5.419
— Штучное время 5.419
Станки для динамического уравновешивания деталей 4.343 — Технические характеристики 4.344
— — для доводки деталей 4.110, 112, 113, 122
— — для заточки резцов 4.106
— — для заточки сверл 4.108
— — торцешлифовальные 4.72
Станки зубодолбежные 3.506, 508
— — зубострогальные 3.559 — Время машинное 3.562, 563 — Наладка 3.560 — Скорость резания 3.562 — Способы настройки 3.561 — Формы кинематической настройки 3.561
— — зубохонинговальные 3.541
— — зубошлифовальные 3.544
Станки-комбайны с системами ЧПУ 5.474—478
Станки координатно-расточные (КРС) 3.335
— Выверка положения деталей 3.337, 343—346
— Инструмент вспомогательный 3.337, 338, 341
— Обработка отверстий 3.342
— Оснастка технологическая 3.335, 336
— Режимы обработки 3.349, 350
— Способы крепления деталей 3.347, 348
— Столы поворотно-делительные 3.336, 349—353
— Точность растачивания отверстий 3.350
Станки специальные 5.36—44
Станки с системами ЦПУ — Перечень 5.482
— Условия рациональной эксплуатации 5.487
— — токарные 5.481, 486
— — фрезерные 5.481, 483, 485
Станки с системами ЧПУ — Особенности 5.454 — Преимущества 5.24, 454, 455 — Расчет эффективности 5.24—36 — Точность автоматического позиционирования 5.454
— — сверлильные 5.473, 474
— — фрезерные 5.463—473
Станки строгальные — Типы державок 3.360, 362
— — шевинговальные 3.539, 540
Станочные приспособления 4.353 — см также *Приспособления станочные универсальные, Приспособления специальные*
— Классификация 4.353
— Классификация схем станочных операций 4.361
— Расчет оперативного времени — Формулы 4.361
— Расчет основного и вспомогательного времени 4.360
— Себестоимость — Нормативы укрупненные 4.369
— Технико-экономические расчеты при применении 4.354
— Характеристики 4.353
— Шифровка 4.353
Стенды 5.165
— — механизированные для базирования изделий при сборке машин 4.248, 249
Степень статической неопределимости — Понятие 1.226
Стержень — Расчет 1.243—247
Стержни литейные 3.18, 19
Стоимость здания под оборудование 5.27
— — оборудования балансовая 5.27
— — приспособления 5.28
— — служебно-бытовых объектов 5.27
Стойки 4.458, 459, 460
Столб полупроводниковый выпрямленный 1.154
Столы стандартизированные 4.458, 460, 462
Строгание 3.354 — Нагрузка максимальная 3.360, 361
— Подачи 3.363, 364
— Режимы резания 3.361
— Скорость резания 3.364—366
Строфотрон 1.154
Струбцины 4.238, 239
Струйная техника — Применение 5.159, 160
— Принцип действия 5.158
— Струйные элементы с прилипанием струи 5.158, 159
Струйно-мембранные устройства 5.160
СТ СЭВ 144—75 3.666, 672
145—75 3.666
177—75 3.666, 672
Сужение 1.191
Сужение образца относительное 2.14
Супериконоскоп — см *Иконоскоп с переносом изображения*
Суперортикон — см *Ортикон с переносом изображения*
Суперфиниширование 4.80, 91
— Инструмент, 4.92, 94
— Припуски 4.92, 93
— Режимы резания 4.94
Суппорт гидрокопировальный 5.178
Схема интегральная 1.154
Сценикоп 1.154
Счетчик газоразрядный — см. *Счетчик ионный*
— — ионный пропорциональный 1.154
— — ионный с ограниченной проводимостью 1.154
— — ионный с самостоятельным разрядом 1.154
— — ионный самогасящийся 1.154
— — кристаллический 1.154, 155
— — элементарных частиц 1.155

Т

Таблица решений 5.117, 118
— — характеристическая 5.118, 119
Такт 5.14
Тантал — Взаимодействие с различными средами 2.552, 553
— *Получение и обработка* 2.551, 552
— Применение 2.553, 554
— Характеристики свойств 2.552, 553
Тайпотрон 1.155
Твердосплавный инструмент правящий 4.42, 45
Твердость 2.33—36, 37
— Измерение — см. *Измерение твердости*
— Понятие 2.32
— Шкалы 2.35, 36
Твердость абразивных инструментов 4.7, 25, 31
Твистор 1.155
Текинетрон 1.155
Тело твердое — Понятие 1.18
— — упругое — Понятие 1.180
Тензодатчики — см. *Датчики проволочные*
Тензометр полупроводниковый 1.155
Тензочувствительность 2.277
Теория Мора 1.192, 193
Теория расписаний 5.61
Термистор 1.155
Термопара — см *Термоэлемент*
Термопласты 2.599, 600 — Качественная оценка, назначение, методы переработки 2.604—618
— — высокой прочности — Изменение свойств под влиянием внешних факторов 2.666, 667
— Физико-механические и теплофизические свойства 2.662, 663
— — низкой прочности — Изменение свойств под влиянием внешних факторов 2.636—641
— Физико-механические и теплофизические свойства 2.628—635
— — средней прочности — Изменение свойств под влиянием внешних факторов 2.649—657
— Физико-механические и теплофизические свойства 2.646, 647
Термопреобразователь 1.155
— — вакуумный 1.155
Терморезистор 1.155
Термосопротивление — см. *Терморезистор*
Термоэлектробатарея 1.155
Термоэлемент 1.155
Тетристор 1.155
Тетрод газонаполненный 1.156
— — лучевой 1.156
Техника струйная — см. *Струйная техника*
Технические характеристики ванны для нагрева подшипников 4.245
— — виброизмерительной аппаратуры 4.346
— — гайковертов пневматических реверсивных 4.229
— — гайковертов электрических 4.228
— — гайкореза электрического ручного 4.229
— — камер для охлаждения деталей с помощью сухого льда 4.246
— — лестницы телескопической передвижной 4.235
— — машин сверлильных 4.220, 221, 222
— — машин сверлильных пневматических 4.221
— — машин сверлильных электрических 4.220
— — машин шлифовальных пневматических 4.227
— — машин шлифовальных электрических 4.225
— — машины трубогибочной гидравлической 4.240
— — машины шлифовальной с гибким валом 4.226
— — молотков пневматических клепальных 4.232
— — молотков пневматических рубильных 4.232
— — ножниц пневматических 4.230
— — ножниц циркульных для вырезки прокладок 4.241
— — ножниц циркульных для вырезки прокладок и прорезки отверстий 4.241
— — ножниц электрических 4.231
— — оргоснастки рабочих мест сборки 4.236
— — патрона зажимного поворотного 4.395
— — патронов кулачковых стандартизированных 4.392
— — патронов трехкулачковых токарных 4.393
— — преобразователей машинных переносных 4.233
— — преобразователей статических стационарных 4.233
— — пресса гидравлического стационарного 4.244
— — пресса для клепки трубчатых заклепок 4.245
— — пресса для постановки болтзаклепок 4.244
— — пресса настольного универсального пневматического двойного действия 4.243
— — пресса настольного универсального пневморычажного 4.243
— — пресса пневматического с двигателем диафрагменного типа 4.242
— — пресса реечного настольного 4.242

— — прессов гидравлических одностоечных 4.244
— — прессов пневмо-рычажных 4.243
— — приспособления для развальцовки трубок 4.240
— — приспособления для резки трубок 4.239
— — приспособления к сверлильному станку для изготовления резиновых и фибровых прокладок и колец запорной арматуры 4.241
— — резьбореза пневматического ручного 4.230
— — станка абразивно-отрезного настольного 4.239
— — станка сверлильного 4.241
— — станков для развальцовки трубок 4.240
— — станков для уравновешивания деталей 4.344
— — станков трубогибочных 4.339, 340
— — стендов для базирования изделий в процессе сборки 4.248, 249
— — струбцин параллельных 4.239
— — струбцин скобообразных 4.238
— — термокамеры 4.248
— — тисков слесарных 4.238
— — трансформаторов понижающих 4.233
— — устройств защитно-отключающих 4.234
— — устройств типа УСБ 4.343
— — центров стандартизированных 4.382
— — шкафа терморадиационного для нагрева 4.246
— — шкафа электрического для нагрева 4.246

Технико-экономические и организационно-плановые расчеты 4.570
— Выбор варианта технологического процесса 4.662
— Выбор оборудования 4.603
— Выбор технологической оснастки 4.604
— Определение себестоимости и показателей экономичности принимаемого технического решения 4.558
— Определение сроков окупаемости и коэффициентов экономической эффективности 4.599
— Оценка себестоимости на стадии проектирования — Методы 4.597
— Расчет поточного производства 4.609
— Расчет производственной мощности, загрузки и коэффициентов использования оборудования 4.607
— Расчеты экономии от внедрения организационно-технических мероприятий, рационализаторских предложений и изобретений 4.601

Технологическая линия — см *Линия технологическая*
Технологический модуль 5.366
Технологичность конструкции 4.346
— Кинематические цепи 4.349
— Размерные цепи, их расчет и анализ 4.349
Течение жидкости — Виды 1.70, 71
Тиратрон дугового разряда 1.156
— — импульсный 1.156
— — полупроводниковый — см. *Тиристор триодный*
— — с холодным катодом — см. *Тиратрон тлеющего разряда*
— — с экранирующей сеткой 1.156
— — тлеющего разряда 1.156
Тиристор 1.156
Тиристор диодный 1.156, 157
— — триодный 1.157
Тиристорные возбудители — Технические характеристики 5.607
Тиски слесарные 4.177, 238
— — станочные 4.458, 465, 468, 469
— — станочные винтовые самоцентрирующие для круглых профилей 4.467
— — станочные с эксцентриковым зажимом 4.466
Титан 2.525 — Коррозионная стойкость 2.529
— Марки, состав 2.528
— Способы получения 2.526
— Характеристики свойств 5.523, 525, 527, 528
Ток синусоидальный переменный 1.112
Токарная обработка — см *Обработка токарная*
Токи вихревые 1.112
Томпак 2.419
Тормоз электромагнитный 5.204, 205
Точка — Движение 1.22—24
Точка приведения 1.49
Травление — Пасты 3.124 — Растворы 3.124, 126, 127
— — местное 3.129, 130
— — общее 3.129
— — полиэтилена и стеклопластиков — Составы 3.129

Транзистор 1.157
Транзистор бездрейфовый 1.157
— — выращенный 1.157
— — германиевый 1.157
— — диффузионно-сплавной 1.157
— — диффузионный — см. *Транзистор бездрейфовый*
— — дрейфовый 1.157
— — канальный — см. *Транзистор полевой*
— — лавинный 1.158
— — МДП 1.158
— — МДП с индуцированным каналом 1.158
— — МДП со встроенным каналом 1.158
— — микросплавной 1.158
— — МОП 1.158

— — планарный 1.158
— — плоскостной 1.158
— — поверхностно-барьерный 1.158
— — полевой 1.158
— — *n—p—n* 1.158
— — пьезо — см *Пьезотранзистор*
— — с изолированным затвором 1.159
— — симметричный 1.159
— — составной 1.159
— — сплавной 1.159
— — с управляющим *p—n* переходом 1.159
— — точечно-контактный см. *Транзистор точечный*
— — точечный 1.159
— — униполярный — см. *Унитрон*
— — четырехслойный — см. *Тиристор триодный*
— — эпитаксильный 1.159
Транспорт — Автоматизация — см *Автоматизация транспорта*
Транспортирование полусамотечное — Конвейеры 5.220—232 — Принцип 5.214
— — непрерывное 5.220—229
— — прерывистое 5.229—232
Транспортирование самотечное — Параметры и конечные скорости качения изделий 5.216
— Предельные скорости 5.214, 215
— Принцип 5.214
— Спуски 5.214—219
Транспортные системы сборочных машин 5.576—578
Трансфлюксор 1.159
Трансформаторы 1.136
— — повышенной частоты 5.603
— — понижающие 4.232
Трение — Виды 1.43
— Коэффициент 1.43
— Понятие 1.43
Трение граничное — Понятие 1.422
— — жидкостное 1.43
— — качения 1.45, 46
— — полужидкостное (смешанное) 1.422
— — скольжения 1.43—45
— — со смазкой 1.43
— — сухое 1.43
Трещины горячие — Образование 2.47
— — кристаллизационные 2.47
— — подсолидусные 2.47
Трещины холодные 2.223, 224 — Образование 2.49
Триатрон 1.159
Тригатрон 1.159
Тринистор — см *Тиристор триодный* 1.159
Триод 1.159
Триод-гептод 1.159
Триод двойной 1.159
— — карандашный 1.160
— — кристаллический — см. *Транзистор*
— — полупроводниковый — см. *Транзистор*
Триоплазмотрон 1.160
Трохотрон 1.160
Трубка Брауна — *см Трубка электронно-лучевая*
— — запоминающая — см *Потенциалоскоп*
— — катодная — см *Трубка электронно-лучевая*
— — Кубецкого — см *Умножитель фотоэлектронный*
— — накопительная 1.160
— — осциллографическая 1.160
— — просвечивающая 1.160
— — рентгеновская 1.160
— — телевизионная передающая 1.160
— — телевизионная приемная 1.160
— — телевизионная приемная цветная масочная 1.161
— — телевизионная тепловая 1.161
— — тока — Понятие 1.71
— — Шмакова — Тимофеева 1.161
— — электронно-лучевая 1.161
Трубка электронно-лучевая двухлучевая 1.161, 162
— — знаковая 1.162
— — с магнитным управлением 1.162
— — с магнитной фокусировкой 1.162
— — с электростатическим управлением 1.162
— — с электростатической фокусировкой 1.162
Трубогибочная машина 4.240
Трубопроводы для гидросистем — Расчет 4.537
Трубопроводы простые — Гидравлический расчет 1.93—95 — Схемы соединения 1.95
— — сложные — Гидравлический расчет 1.95—97 — Схемы соединения 1.96
Труборезы 4.239
ТУ 2-034-42—74 5.415
2-034-74—70 5.417
6-05-898—71 2.625
6-05-905—71 2.609
6-05-1105—73 2.605
6-05-1309—72 2.613
6-05-1344—71 2.611
6-05-1422—71 2.617
6-05-1451—71 2.613
6-05-1522—72 2.607
6-05-1528—72 2.618
6-05-1543—72 2.615
6-05-1548—72 2.607, 624
6-05-1604—72 2.607
6-05-1625—73 2.626
6-05-1668—74 2.616
6-11-209—71 2.617
14-1-193—72 2.209
14-1-594—73 2.186,
14-1-595—73 2.186, 187
14-1-631—73 2.186, 187
14-222-19—72 2.276
14-222-26—73 2.209
35-ХБ-20—62 1.507
38 5.420

38-1-228—69 5.420
38-1-267—69 1.736
38-1-НХ03—69 1.741
38-10-197—72 5.420
38-10-247—73 5.420
38-101-198—72 1.735
38-1054-35—72 1.490
48-08-476—71 2.404
48-08-484—71 2.504
48-21-163—72 2.434
48-21-297—73 2.404
48-21-299—73 2.404
84-81—69 2.620
141-41—71 2.276
В-189—70 2.618
МБО.023.084 2.621
МБО.023.096 2.619
МБО.023.099 2.621
МБО.023 112 2.621
МБО.026.085 2.621
МП-44—55 2.621
МТО 023 065 2.620
МХП М613—55 2.624
МХП М1514—51 2.624
НИИ ПМ П-467—66 2.617
П3—68 2.618
П3—70 2.606
П33—58 2.618
П400—609 2.624
П422—65 2.614
П513—66 2.614
П622—69 2.620
П666—69 2.616
П672—69 2.616
СП-31—66 2.622
Тунгар 1.162

У

Углеродоазотирование — см. Азотирование стали жидкое
Угол давления 1.59
— — закручивания 1.271
— — трения 1.44
Удар гидравлический — Виды 1.102 — Понятие 1.101 — Фазы 1.101, 102
— — изгибающий 1.270, 271
— — крутящий 1.270, 271
— — продольный 1.268, 269
Ударная вязкость — см *Вязкость ударная*
Удлинение 1.191
Удлинение образца остаточное 2.17
Удлинение образца относительное после разрыва — Обозначение, определение 2.14, 15
— Понятие 2.14
— — при растяжении — Обозначение 2.16
Уклоны конструктивные в отливках 3.19, 20
— — технологические деталей из пластмасс 3.102, 112, 113
— — формовочные 3.20, 21
— — штамповочные 3.51
Ультразвуковая обработка — см. *Обработка ультразвуковая*
Ультрон 1.162
Умножитель с фокусирующими электродами сквозного действия 1.162
— — фотоэлектронный 1.162
— — электронный 1.162
Унитрон 1.162
Унитрон МОП 1.163
Управляющие программы 5.28, 29
Уравнение Бернулли 1.73—77
— — движения идеальной жидкости 1.73
— — движения машины 1.49
— — нейтральной линии 1.220
— — неразрывности — см *Уравнение расхода*
— — расхода 1.72, 73
Уравновешивание деталей и соединений 4 340
— Виброизмерительная аппаратура — Схема установки 4.345 — Технические характеристики 4.346
— Выявление неуравновешенности 4.341
— Неуравновешенность ротора — Устранение 4.343
— Станки для динамического уравновешивания 4.343 — Технические характеристики 4.344
— Устройства для статического уравновешивания — Схемы принципиальные 4.342 — Технические характеристики 4.343
Уравновешивание электродвигателей — Схемы установки 4.345
Уровень гидростатический 4.649
— — дифференциальный — электроиндуктивный 4.649
— — рамный (брусковый) 4.648
— — рамный регулируемый с магнитным креплением 4.648
— — с микрометрической подачей ампулы 4.648
Усадка литейная 3.16
— — пластмассы 3.112, 113
— — сплавов 3.16
Усилители — Обратная связь 1.168, 169
— Параметры 1.168
— Понятие 1.165
— Схемы 1.167, 168
Усилители гидравлические 5.164, 165
— — дифференциальные 5.384
— — магнитные 5.163, 164
— — механические 5.165
— — пневматические 5.165
— — полупроводниковые 5.164
— — постоянного тока — Применение 1.170, 171
— — электрические 5.163
— — электромашинные 5.164, 165
— — электронно-оптические 1.163
— — электронные 5.164
Ускорение — Определение 1.23—26
— План 1.27

Усталость — Понятие 2.22
— — коррозионная сталей высокопрочных 2.221
— — малоцикловая сталей высокопрочных 2.221
Установ 5.8
Установка деталей — Примеры выполнения схем 4.380
Устойчивость — Потеря 1.240, 241 — Проверка 1.241
Устойчивость бруса прямоугольного сечения 1.247—249
— — пластины 1.249—252
— — прямолинейного бруса 1.241—247
— — тонкостенных оболочек 1.252, 253
Устройства загрузочные 5.236
Устройства магазинно-транспортные винтовые 5.261
— — пилообразные 5.262—264
Устройства магазинные — 5.235—264
— — наматывающие 5.331
— — правильно-разматывающие 5.330
— — транспортные 5.256
Устройства отчетно-командные индуктивные 5.384—386
— — пневматические 5.382—384

Ф

Фактор масштабный 1.265
— — поверхности 1.265
Фарфор 2.668 — Характеристики свойств 2.672
Ферма — проверка статической определимости 1.21
— Понятие 1.18
— Схемы 1.21
Феррид 1.163
Феррит 2.67, 72
Флюсы — Классификация 2.52 — Назначение 2.52, 53, 184 — Требования к ним 2.52
— — для алитирования металлов — Состав 2.566
— — для твердых сплавов — Характеристики 2.185
Форма литейная — Особенности изготовления 3.13
Формализованный аппарат геометрических построений — Назначение 5.122
— — ФАП—КФ1 — Геометрические выражения 5.124, 125 — Геометрические операторы 5.124, 126, 127 — Геометрические переменные 5.123 — Массивы геометрических значений 5.123 — Операторы присвоения геометрических значений 5.124 — Проблемный словарь 5.123
Формование гидростатическое 3.94, 95
— — импульсное 3.95, 98
Формовка объемная 3.82, 83
— Давление 3.89
— Качество поверхности 3.85
— Размеры заготовки 3.84
— Точность 3.85
— Усилие 3.89
Формула Альтшуля 1.87
— — Блазиуса 1.86
— — Конакова 1.86
— — Ляме 1.236
— — Нидурадзе 1.86
— — Шифринсона 1.86
— — Ясинского 1.243
Формулы расчетные вакуумных приводов 4.543
— — винтовых зажимных механизмов специальных приспособлений 4.507, 510, 512, 513
— — высоты установочных пальцев специальных приспособлений 4.475
— — гарантированного бокового зазора цилиндрических зубчатых передач 4.317
— — гарантированного бокового зазора червячных передач 4.325
— — гидравлических двигателей (гидроцилиндров) станочных приспособлений 4.539, 540
— — гидропластмассовых оправок 4.437, 444
— — гидропневматических приводов 4.543, 546, 547
— — годового фонда рабочего времени 4.198
— — диаметра обработки кулачков 4.418, 419
— — диаметра рабочей шейки прессовой оправки и усилия запрессовки 4.436, 437
— — для выбора наиболее рентабельного приспособления 4.354—360
— — зависимости крутящего момента от геометрических параметров резьбы 4.277
— — значимости пригоночных работ 4.259
— — клиновых многорычажных и шарнирно-рычажных механизмов 4.521—528
— — кондукторных втулок — Точность межосевого расстояния 4.548
— — копирных устройств 4.549—569
— — коэффициентов загрузки рабочего места и поточной линии сборки 4.199, 200
— — коэффициента качества сборочного процесса 4.259
— — коэффициента расчленения сборочного процесса 4.259
— — коэффициента унификации изделий 4.265
— — механогидравлического привода 4.549
— — момента затяжки резьбовых соединений 4.270

— — момента сопротивления шпильки 4.278
— — моментных цилиндров 4.542
— — мощности индукционного нагревателя при сборке нагревом 4.300
— — направляющих устройств специальных приспособлений 4.503
— — оправок с гофрированными втулками 4.444, 446
— — основного и вспомогательного времени 4.361—368
— — пневматических приводов станочных приспособлений 4.532—534
— — показателей (коэффициентов) уровня технологической подготовки производства 4.266
— — посадочных размеров вспомогательных опор специальных приспособлений 4.474
— — по определению условий собираемости 4.250
— — производительности сборочного рабочего места 4.199
— — производительности станочных операций 4.370
— — пружин сжатия для силовых гидро- и пневмоцилиндров и пневмокамер 4.540, 541
— — расстояний установки призм 4.470
— — ритма поточной сборки 4.199
— — силы образования головок стальных заклепок 4.290
— — смещений заготовки, установленной в центрах 4.384
— — соединений с гарантированным натягом 4.294, 295
— — стоимости выполнения операции сборки 4.258
— — темпа поточной сборки 4.198
— — температуры нагрева при сборке термовоздействием 4.299
— — технико-экономических и организационно-плановых показателей 4.570
— — угла поворота гайки при затяжке 4.271
— — усилий при приводе токарных кулачковых патронов 4.397, 409
— — усилия закрепления заготовок в мембранных патронах 4.419
— — усилия закрепления заготовок одним кулачком патрона 4.397
— — усилия затяжки резьбовых соединений 4.269
— — усилия привода цангового патрона 4.426
— — цикла поточной сборки 4.199
— — эксцентриковых зажимных механизмов 4.513—521

Фотобатарея солнечная 1.163

Фотодиод 1.163

Фотодиод германиевый 1.163
— — селеновый 1.163

Фотолампа бегущей волны 1.163

Фоторезистор 1.163

Фотосопротивление — см. *Фоторезистор*

Фототиристор 1.163

Фототранзистор 1.163

Фототриод — см. *Фототранзистор*

Фотоэлемент 1.163, 5.148, 149

Фотоэлемент вакуумный — см. *Фотоэлемент электронный*
— — вентильный 1.163
— — газонаполненный — см *Фотоэлемент ионный*
— — ионный 1.164
— — полупроводниковый 1.164
— — солнечный 1.164
— — с внешним фотоэффектом — см. *Фотоэлемент электровакуумный*
— — с внутренним фотоэффектом — см *Фотоэлемент полупроводниковый*
— — электровакуумный 1.164
— — электронный 1.164

Фрезерование — Глубина резания 3.403
— Подача 3.403—413
— Проверка режима по мощности 3.413
— Режимы резания 3.398, 401—422
— Скорость резания 3.413
— Смазочно-охлаждающая жидкость 3.402, 403
— Стойкость фрез 3.398, 401
— Точность обработки 3.398—400
— Шероховатость поверхности 3.398

Фрезерование канавок и зубьев инструмента режущего 3.435—438
— Установка заготовки при обработке канавок на концевой поверхности инструмента 3.438
— Установка заготовки при обработке канавок на торцевой поверхности инструмента 3.437, 438 — Установка фрез угловых при обработке канавок на цилиндрических заготовках 3.435—437
— — контуров фасонных 3.438
— — резьбы 3.447, 448

Фрезерование объемное копировальное 4.568

Фрезы — Диаметр и ширина 3.376, 377
— Закрепление 3.376, 381—384
— Зубья 3.384—386
— Канавки стружкоразделительные 3.386, 387
— Конструкция зубьев 3.384
— Материал 3.395, 396
— Наборы 3.373—376
— Направление вращения 3.387
— Отверстия посадочные 3.376, 378
— Точность 3.398

— Углы режущей части 3.387—395
— Эксплуатация 3.396—398
Фрезы дисковые 3.372, 373, 387, 388
— — концевые 3.368, 369
— — отрезные 3.372, 373
— — прорезные (шлицевые) 3.372, 373
— — торцовые 3.368, 369 — Заточка и доводка 4.109
— — угловые 3.372, 373
— — фасонные 3.373
— — цилиндрические 3.368, 369
Фрезы модульные зуборезные дисковые — Назначение, материал 3.494, 495 — Определение профиля 3.496, 498 — Режимы резания для нарезания колес зубчатых цилиндрических 3.498
— — пальцевые — Назначение 3.495 — Определение профиля 3.496—498
Фрезы резьбовые гребенчатые 3.448, 449
— — дисковые 3.449, 450
Фрезы червячно-шлицевые 3.602—631
— Габаритные и конструктивные размеры 3.618—624
— Геометрические параметры 3.617, 618
— Методы увеличения прямоугольного участка профиля детали 3.624—630
— Обработка неэвольвентных профилей 3.602—607
— Профиль зубьев 3.608—614
— Размеры зубьев 3.615—617
— Режимы резания 3.662—664
— Технические требования и допуски на изготовление 3.630, 631
Фрезы червячно-шлицевые *определенной установки* 3.626, 627
— — определенной установки, профилирующих впадин по методу *копирования* 3.627—630
— — с усиками 3.624—626
Фрезы червячные — Виды, материал 3.508
— Принцип работы 3.508
— Размеры 3.509, 510
— Формулы для расчета 3.511—513
Фрезы червячные для валиков прямолинейного профиля — см. *Фрезы червячно-шлицевые*
— — для валиков фасонного профиля — Обработка неэвольвентных профилей 3.631—634
— Определение размеров профиля режущей кромки 3.634—638 — *Основные габаритные размеры* 3.640—642 — Типы 3.638—640 — Шероховатость поверхности 3.640
— — шлицевые — см *Фрезы червячно-шлицевые*

X

Характрон 1.164
Химическая обработка — см *Обработка химическая*
Хладотекучесть пластмасс 2.608
Ход вспомогательный 5.8
— — рабочий 5.8
Холла датчик 1.164
Хонингование — Бруски режущие — Зернистость — Характеристика — Выбор 4.83, 86, 87 — *Число, размеры, форма* 4.83, 85, 88, 90 — Притирка 4.89
— Инструмент — Конструкция — Выбор 4.82 — Крепление — Схемы 4.77, 82
— Рабочий цикл 4.82
— Режимы 4.89
Хоны зубчатые 3.541
Хромирование 2.365, 564, 565, 573 — см также *Обработка химикотермическая металлов для защиты от окисления диффузионным насыщением в порошковых смесях* — Методы, характеристики 2.366, 367

Ц

Цанги зажимные 4.422
— — зажимные для инструмента с цилиндрическим хвостовиком 4.424
— — подающие 4.423, 424
Цанговые оправки 4.425, 426
Цанговые патроны к токарно-револьверным станкам 4.424
Цанговые приспособления 4.423
Цементация 2.323 — Глубина слоя 2.323, 326, 327, 333 — Режимы 2.324, 325 — Свойства цементованных изделий 2.334, 336—338 — *Технология* 2.327—334
— — в твердом карбюризаторе 2.328
— — газовая 2.328, 329
— — подшипников качения 2.191, 194
Центр изгиба — Определение 1.220
— Положение 1.221, 222
— Понятие 1.220
— — тяжести 1.218
Центры 4.381
— Нормы точности на радиальное биение и соосность 4.383
— Смещения заготовки 4.384
Центры специальные стандартизированные 4.381 — Технические характеристики 4.382
Цепи — Звездочки 1.556
— Классификация 1.556
— Материал 1.556
— Регулирование натяжения 1.583
Цепи втулочные — Выбор шага 1.574—578
— Технические характеристики 1.558, 559

— — зубчатые с шарнирами качения — Выбор шага 1.575—579 — Технические характеристики 1.562, 563
— — роликовые — Выбор шага 1.574—578 — Технические характеристики 1.558—561
Цепь кинематическая — см *Система геометрически изменяемая*
— — переменного тока — Мощность 1.113
— — симметричная трехфазная 1.113
Цианирование 2.170
— — высокотемпературное 2.360, 361
— — низкотемпературное — см. *Азотирование жидкое*
— — подшипников качения 2.191, 194
Цикл напряжений — Понятие 2.23
— — асимметричный 2.23
— — симметричный 2.23
Цикл переменных напряжений — Понятие 1.225
— Характеристики 1.255
Циклограмма 5.174
Цилиндр толстостенный — Расчет на прочность 1.236—238
— Расчетные формулы
Цилиндры гидравлические 4.537
— — моментные 4.538, 542
Цинк — Марки, состав 2.500
— Характеристики свойств 2.501
Цинкование 2.368

Ч

Частота угловая 1.112
Чеканка 3.85
Червяки — Геометрическая форма 3.519
— Допуски на толщину витка 1.692
— Материал 1.653
— Наименьшее утонение витка 1.690, 691
— Нарезание 3.519—521
— Нормы точности 1.681
— Полировка 3.522
— Притирка 3.522
— Шлифование 3.521, 522
Червячные пары см *Червяки*; *Колеса червячные*
Червячные передачи 4.324
— Виды отпечатков на зубьях червячного колеса при проверке зацепления на краску 4.325
— Гарантийный боковой зазор 4.326
— Допуски на перекос осей 4.326
— Зазор в зацеплении — Определение 4.327
— Контроль по нормам кинематической точности 4.681, 692, 694
— Контроль смещения оси червяка относительно средней плоскости колеса 4.325
— Нормы контакта 4.327
— Предельные отклонения межосевого расстояния и предельные смещения средней плоскости колеса 4.326
Число Рейнольдса 1.80—82
— — степеней свободы механизма — Определение 1.18, 20—22
— — Фруда 1.81
Число твердости по Бринеллю 2.33
— — по Виккерсу 2.34
— — по Роквеллу 2.35
Чугун 2.368 — Виды отливок 2.369
— Жаростойкость и жаропрочность 2.373, 377—380
— Классификация 2.373
— Механические свойства 2.370—376
— Назначение 2.368, 383—385
— Рост 2.373, 378
— Технологические свойства 2.390—392
— Усадка линейная 2.390, 392

Ш

Шаберы 4.179, 180
Шабрение поверхностей 4.179, 181, 182
Шаговый механизм 5.575
Шайбы волнистые — Изготовление 1.725
— Назначение 1.725 — Расчет 1.725—727 — Схема нагружения 1.725
— — пружинные — Размеры 1.313
— — упругие разжимные 4.431
Шарикоподшипники радиально-сферические двухрядные 1.406, 407
— — радиальные однорядные 1.403—405
— — упорные 1.412, 413
Шевер-рейки 3.538 см *Шеверы*
Шеверы — Определение технологических параметров колес для расчета 3.534, 535
— — дисковые 3.526—535
— — для колес внутреннего зацепления 3.538
— — червячные 3.540
Шевингование 3.524—540
— Методы 3.535, 537
— Назначение 3.525
— Получение бочкообразной формы зубьев 3.538
— Принцип 3.525
— Припуски 3.526
— Режимы 3.539
— Технические характеристики станков 3.539
— Формулы настройки станков 3.539, 540
Шероховатость поверхности — Геометрические параметры 3.735
— Измерение 4.652
— Параметры после чистовой обработки 3.732—734
— Требования для деталей из сталей высокопрочных 2.220

Шероховатость поверхности при доводке внутренних цилиндрических поверхностей 4.142
— — при доводке плоских поверхностей 4.128, 129
— — при доводке плоскопараллельных мер 4.132
— — при доводке цилиндрических поверхностей 4.131, 143
— — при калибровании, отделке и упрочнении 4.146
— — при обработке отделочной абразивным инструментом 4.80
— — при опиливании 4.171
— — при полировании 4.96
— — при хонинговании 4.84, 85, 86, 87, 92
— — *при шабрении* 4.181
Шероховатость эквивалентная — Значения 1.86
Шестерня — Понятие 1.584
Шкивы для зубчатых ремней — Изготовление 1.552 — Конструкции 1.552
— Материал 1.552 — Размеры 1.551—553
— — для плоскоременных передач — *Диаметры 1.510, 511* — Материал 1.512 — Профиль обода 1.512 — Сечение обода 1.512 — *Стрела выпуклости* 1.511
— — для поликлиновых ремней — Профиль канавок 1.538 — Размеры 1.533, 534
— — клиноременные — Конструкция 1.532, 533, 538 — Материал 1.532 — Размеры 1.533—536 — Расчет 1.537
— — стальные сварные 1.515
— — чугунные 1.512—514
Шкурка шлифовальная 4.16, 22, 25, 181, 182, 186, 187
Шлифовальные инструменты — см *Абразивный инструмент*
Шлифовальные круги — см. *Абразивные круги, Алмазные круги, Эльборовые круги*
Шлифовальные машинки 4.183
Шлифование врезное 5.399
— — круглое наружное врезное 4.50
— — окончательное 4.49
— — предварительное 4.49
— — сопряженное 5.390
— — *с продольной подачей* 4.50
— — тонкое 4.50
— — черновое 4.49
Шлифование круглое наружное
— Виды основные 4.50
— Установка обрабатываемой детали 4.53
— Установка центральных гнезд на центрах 4.53
Шлифование круглое наружное бесцентровое
— Особенности 4.55
— Установка обрабатываемой детали 4.56
Шлифование круглое наружное бесцентровое врезное 4.62
— — конусов 4.65
— — на проход 4.57
Шлифование многошпоночных валиков
— Способы 4.73
Шлифование отверстий
— Схемы типовые 4.67
— Установка и крепление обрабатываемой детали 4.69
Шлифование плоское периферией круга 4.71
— — торцом круга 4.72 — Выбор формы круга 4.75
— — торцом круга на двусторонних станках — Способы 4.76
— — шлицев 4.72
Шлифование резьбы 3.472—475
— Жидкости охлаждающие 3.473 — Правка шлифовального круга 3.473, 474 — Точность 3.473
— — бесцентровое 3.473
— — изделий твердосплавных 3.474
— — кругом многониточным 3.472
— — кругом однониточным 3.472
— — сталей быстрорежущих 3.475
Шлифование тонкое 4.77
— Качество *обработанной* поверхности 4.50
— Припуски 4.77
— Режимы 4.77, 81
— Режимы правки абразивного круга 4.77, 81
— Точность 4.80
— Фильтрация СОЖ 4.77
Шлифование электрохимическое 3.162, 164
Шлицевые соединения 4.285
Шпильки — Размеры 1.305—307 — Типы 1.305
Шплинтовыдергиватели 4.213
Шплинты — Размеры 1.314
Шпонки для установки приспособлений 4.375
— — клиновые 4.282 — Пригонка 4.284 — Применение 1.373
— — направляющие — Применение 1.373 — Размеры 1.378
— — призматические 4.283 — Конструкции 1.372, 373 — Предельные размеры отклонения размеров 1.379 — Применение 1.372
— — сегментные — Предельные отклонения размеров 1.379 — Применение 1.373 — Размеры 1.376, 377
— — тангенциальные — Применение 1.373
Шпоночные соединения напряженные 4.281
— — ненапряженные 4.282 — Извлечение шпонок 4.284 — Пригонка 4.284
Штабелер 5.559
Штамп — Переходы 3.54
— Пленка под прошивку 3.53

— Поверхность разъема 3.48
— Расчеты основных операций 3.68—78
Штамповка листовая холодная — Выбор пресса 3.63, 68 — Расчет размеров и форма заготовки 3.57—63 — Расчет усилий 3.63, 66, 67 — Термический режим 3.37—40
— — объемная 3.41 — Способы 3.42—47
Штампуемость — Влияющие факторы 2.37, 38
— Показатели 2.38, 39
— Понятие 2.37
Штангенглубомеры 4.618
Штангенинструмент 4.617
Штангенрейсмасы 4.618
Штифтовыдергиватели 4.213
Штихмасы микрометрические 4.656
Штриховые машины 4.641
Штыри опорные 4.469

Щ

Щетки механические вращающиеся — Рекомендации по выбору 4.184
Щипцы для развода пружинных колец 4.212
— — для сжатия пружинных колец 4.213

Э

Эйбикон 1.164
Эйдофор 1.164
Экономический эффект 5.24, 131, 134, 135
Экситрон — см *Вентиль ртутный*
Экструзия 3.120, 122
Эксцентрики 4.513
Электродвигатели — Выбор 1.126—128
— Классификация 1.115
— Режимы работы 1.115, 116
— Схема установки 4.345
— Уравновешивание 4.345
Электродвигатели асинхронные
— Виды исполнений 1.120, 124
— Достоинства 1.119 — Недостатки 1.119
— Технические характеристики 1.119—124
— — крановo-металлургические — Применение 1.119 — Технические характеристики 1.118
Электроды — инструменты 3.136, 138, 139
— Покрытия изоляционные 3.163
Электроконтактные системы 4.626
Электролиз 3.92
Электромагнитные зажимы 4.545
Электромеханический привод 4.543
Электронные приборы 4.624
Эльбор 4 31, 40
Эльборовые круги 4.31, 40
— Зернистость 4.40
— Концентрация 4,41
— Маркировка 4.32
— Правка 4.49
— Применение 4.41
— Связка 4.41
Эльборовый инструмент 4.31
Эмитрон — см *Иконоскоп*
Эмульсия для очистки деталей 3.195
Энергия деформации — Определение 1.181
— Понятие 1.181
— — кинетическая 1.48, 50
— — потенциальная 1.48
Эпюра — Перемножение способом Верещагина 1.217
— Понятие 1.175
— Расслаивание на простейшие 1.217
Эргономика 4.370
Эффективность автоматизации 5.23, 24

Я

Ядро сечения — Понятие 1.224
— Размеры 1.225
— Форма 1.225
Ящики стержневые — Уклоны формовочные 3.20, 21

ПЕРЕЧЕНЬ ГОСТов

№ ГОСТа	Стр.	№ ГОСТа	Стр.
2.101—68	4.192	427—75	4.617
2.308—68	3.722, 726, 728, 729	434—71 *	2.420
2.309—73	1.369	492—73	2 442, 449, 450, 456
3.1107—73	4.378	493—54 *	2.435, 436
5.72 *	2.624	494—69	2.430
5.91—693	3.638	495—70	2.419
5.651—70	4.626	520—71	1.392; 4.327
5.1176—71	4.627; 5.416	529—41 *	2.420, 430, 700
8.003—71	4.680	577—68 *	4.621
8.046—73	4.680	591—69	1.557, 568
8.051—73	4.637	592—75	1.557, 567
8 165—75	4.677	607—75	4.43, 104
8.166—75	4.615	613—65	2.435
8 175—75	4.673	617—72	2.420
10—75	4.620	767—70	2.416, 419
12.2.001—74	4.25	792—67	2.690
12.2 010—75	4.235	800—55 *	2.186
12.2.013—75	4.235	801—60 *	1.392; 2.186, 187
14.001—73	4.570	802—58	2.261
14.002—73	4.570	804—72	2.507
14.103—73	4.348	808—72	4.337, 643
14.201—73	4.571	831—75	1.391
14.202—73	4.347, 576	836—72 *	3.376; 4.109
14.203—73	4.265, 347, 349, 576	849—70	2.449, 450, 572
14.204—73	4.571	859—66 *	2.415, 416
14.301—73	4.101, 571	860—60 *	2.396
14.302—73	4.253, 571	883—71	3.282
14.303—73	4.262, 571	885—64	3.235, 237
14.304—73	4.571; 5.15	886—64	3.242
14.305—73	4.371; 5.15	931—70	2.430, 685
14 306—73	4.571; 5.15	973—50	1.734
14.307—73	4.571; 5.15	977—75	1.463, 564; 2.132
32—74	1.737	1048—70 *	2.440
48—73	5.423	1050—74	1.457, 458, 563, 564; 2.86; 4 432
44—72	5.423	1066—75	2.696
101—54 *	1.490	1071—67 *	2.203, 691
103—57 *	2.684	1092—69	3.369
122—54	5.420	1121—75	4.644
162—73	4.618	1133—71	2.674
164—73	4.618	1139—58	1.384, 386, 387, 463, 465, 478; 3.630, 631, 655
166—73	4.618	1173—70 *	2.419
176—50	1.734		
333—71	1.391; 408, 409		
380—71 *	2.73,132		
397—66 *	1.314		

№ ГОСТа	Стр.	№ ГОСТа	Стр
1208—73	2.440, 700	2424—75	4.17, 101, 104, 219, 239
1209—73	2.408	2447—76	4.19, 100
1284—68 **	1.518, 519, 536, 547	2456—75	4.21
1320—74	2.408	2464—75	4.20
1412—70	1.565; 2.371	2475—62	4.658, 659
1414—75	2.127	2524—70 *	1.309
1435—74	1.703; 2.148, 197	2526—70 *	1.309
1452—69 *	1.715	2528—73	1.311
1465—69	4.168	2571—71	4.384
1497—73	2.12, 419	2572—72	4.384
1499—70 *	2.398	2575—67 *	4.381
1513—67	4.168	2576—67 *	4.383
1535—71	2.420	2578—70	4.384
1579—63	2.419	2581—71	2.508
1584—75	4 100	2590—71	2.675
1585—70	1.565; 2.383	2591—71	2.675
1595—71	2.440	2624—67 *	2.420, 439, 700
1604—71 *	3.452	2675—71	4.387, 392
1628—72	2.440	2679—73	3.372
1631—61	1 739	2704—66	2.324
1643—72	1.693; 3.494, 519, 520, 625, 527, 543; 4.315, 316, 318, 320, 686	2718—74	2.625
		2719—73	3.336
		2759—69 *	3.543
		2771—57	2.690, 691, 696
1654—71 *	4.397	2789—73	1.438, 628; 2.410, 673; 3.36, 85, 111, 261, 336, 398, 404, 630, 735; 4.80, 335, 652; 5.22
1669—69	3.372		
1672—71	3.280, 282		
1677—75	3.261		
1758—56	1.671; 3.548, 550, 577; 4.321, 323		
1761—70 *	1.701; 2.440	2838—71	4.204, 205
1774—71 *	1.335	2839—71	4.204, 376
1778—70	2.285	2841—71	3.336; 4 204, 376
1789—70	1.701; 2.440	2847—67 *	3.376
1791—67	2.446	2848—75	3.384
1855—55	3.32, 33, 36, 166	2849—69	4.673
1861—73	1.738	2860—65	2.22, 31
1908—66 **	4.144	2875—75	4.673
1957—73	1.740	2876—70	4.422
1984—70	4.335	2877—70	4.423
2009—55	3.166	2893—73	1.391
2015—69 *	4.614	2923—75	4.644
2055—43	2.21	3045—51	1.741
2060—73	2.430	3047—66 *	2.695
2092—64	3.242	3057—54	1.727, 728
2112—71 *	2.420	3060—75	4.14, 16
2132—58	2.454	3108—71	4.205
2169—69	2.575	3128—70	1.475
2170—73	2.454, 458	3231—71	3.267
2176—67	2.230	3248—60	2.16
2179—59	2.454	3257—74	1.741
2208—70	2.430	3262—75	2.699
2209—69	3.266, 267, 272, 273, 281, 283, 285—287, 303, 304, 356; 4.381	3266—71 *	3.451, 454
		3276—74	1.739
		3307—61	3.461, 462, 465
		3325—55 *	1.416; 4.327, 329
2216—68	4.614	3329—75	4.209
2248—69 *	3.485	3333—55	1.740
2255—71	3.267	3443—57	2.373
2283—69 *	2.204	3509—71	3.282
2287—61*	3.469, 471	3565—58	2.18
2309—54 **	4.168	3584—73	4.38
		3640—75	2.500

№ ГОСТа	Стр.	№ ГОСТа	Стр.
3647—71	4.7, 12, 14, 28	5392—64	3.558
3675—56	1.680; 4.327	5520—69 *	2.129
3749—65	4.673	5535—50	2.324
3752—71 *	3.369	5570—69	1.741
3755—69	3.372	5582—61 *	2.230
3773—72	2.504	5616—72	4.341
3882—74	2.180, 181	5632—72 **	2.172, 186, 187, 209, 234, 241, 250, 254, 279, 572
3889—71 *	4.392, 415		
3890—72 *	4.387, 393		
3899—68	4.626, 627; 3.143, 415, 416	5638—75	2.419
3964—69	3.371, 373	5639—65	2.37, 296
4002—53 *	1.737	5651—76	5.413
4003—53	1.738	5657—69	2.313, 315
4010—62	3.242	5685—51	2.430
4041—7 *	2.86	5688—61 *	3.184
4045—75	4.168, 177, 238	5689—73	2.625
4046—71	4.677	5695—51 *	2.700
4060—60	1.391	5702—75	1.741
4113—48 *	1.741	5720—75	1.391
4119—76	4.614	5721—75	1.391
4134—75	2.434	5813—76	1.520, 522
4159—64 *	2.575	5905—67 *	2.575
4253—48	4.327	5908—51	4.341
4364—67	1.739	5915—70 *	1.308
4366—76	1.739	5916—70 *	1.308
4380—63 *	4.653	5918—73	1.310
4381—68	4.640	5919—70	1.310
4442—72	2.430	5927—70 *	1.308
4543—71	1.564; 2.100, 101, 197, 279	5929—70 *	1.308
		5931—70 *	1.308
4608—65 *	1.316, 337; 3.456, 475; 4.276	5932—73 *	1.310
		5933—73 *	1.310
4647—69 *	2.601	5935—73	1.311
4648—71	2.601, 634	5950—73	2.148, 153, 161
4650—73	2.602	5960—72 *	2.172
4651—68	2.601, 634	5981—57 *	2.683
4657—71	1.391	6009—74	2.684
4670—67	2.602	6012—67	2.454
4692—57	2.674	6033—51	1.388, 463, 465
4693—57 *	2.674	6111—52 *	1.281; 3.450, 468, 475, 476
4727—67	2.186		
4748—70 *	2.440	6211—69 *	1.280; 3.450, 475
4752—55 *	2.420	6226—71	3.292
4784—65 *	2.464	6227—71 *	3.452
4785—64 *	4.14, 16, 25	6228—71	3.450
5005—65 *	2.699	6235—73	2.454
5006—55 *	1.455, 462, 463	6267—74	1.740
5009—75	4.23, 25	6357—73	1.279, 316, 342, 343; 3.239, 241, 450, 451
5017—74	2.432		
5063—73	1.701; 2.446, 458		
5078—49 *	1.741	6360—58 *	1.737
5147—69	1.468, 469	6364—68	1.331
5187—70 *	2.446, 458	6394—73	4.206
5189—75	2.446	6396—68 *	3.371
5220—71	2.446	6402—70 *	1.313
5221—72	1.703; 2.440	6411—76	1.737
5222—72	1.703; 2.440	6424—73	4.376
5272—68 *	2.58	6456—75	4.23, 25
5307—69	2.446	6469—69	3.372
5348—69	3.372	6480—53 *	1.735
5368—73	1.693; 4.681	6507—60	4.619
5378—66 *	4.680	6511—60	2.440
		6512—74	4.682

№ ГОСТа	Стр.	№ ГОСТа	Стр.
6636—69	3.103, 667, 671; 4.347	8283—67	2.680
6645—68 *	4.168	8290—57	4.622
6647—64	3.246	8303—76	5.184
6648—68 *	3.371	8338—75	1.391, 403, 405
6862—71	2.269, 270	8412—57	1.738
6874—54 *	1.391	8419—75	1.391
6876—68	4.168	8509—72	2.679
6933—72	4.621	8510—72	2.679
6958—68 *	1.312	8522—70	3.337
6982—75	1.491	8524—73	4.219
6996—66	2.46, 47, 51	8529—69 *	3.369
7016—75	4.652	8543—71	3.371
7062—67	3.43, 48, 166	8551—74	1.740
7063—72 *	3.371	8570—57 *	3.527, 528, 534, 536
7068—54	4.210	8581—63 *	1.736
7117—62	2.504, 505	8675—62	2.318
7171—63	1.741	8692—75	4.19, 24
7210—75	4.168	8697—58 **	2.627
7211—72	4.16	8720—69 **	3.370
7212—74	4.168	8721—69	3.369
7225—54	4.177	8724—58 *	1.273, 321
7226—72 *	4.177	8732—70 *	2.699
7227—58	1.378, 379; 3.378	8734—75	2.699
7242—70 *	1.391	8742—75	4.382, 383
7282—75	4.168	8773—73	1.740
7293—70	1.565; 2.374	8786—68	2.681
7338—65 **	4.433	8787—68 *	2.681
7350—66 *	2.230, 683	8788—68 *	1.374, 378, 457, 460, 474, 478; 4.283
7467—75	4.203		
7470—67 *	4.620		
7502—69	4.617	8789—68 *	1.358, 359, 374, 375
7505—74	3.43, 45, 51, 53, 54, 166	8790—68	1.378
7599—73	5.421	8791—68	1.374; 4.282
7661—67 *	4.638	8792—68	1.374
7664—61	1.13	8793—68	1.374, 375
7713—62	3.116, 673; 4.347	8794—68 *	1.376; 457
7722—70	3.282	8795—68	1.358, 376, 377
7795—70 *	1.299, 301	8796—68	1.373
7769—63	2.377, 378	8797—68	1.373
7798—70 *	1.295, 297	8817—73	2.41
7805—70 *	1.295—297	8820—69	4.614
7808—70	1.300, 301	8838—74	1.473
7829—70	3.43, 48	8908—58	3.384
7865—56 *	4.649	8995—75	1.391
7871—75	2.696	9000—73	1.278, 316
7872—75	1.391	9012—59 *	2.33
8026—64	4.644	9013—59	2.35
8027—60 *	3.622, 623, 630, 631	9016—59 *	4.680
		9038—73 *	4.614, 615
8032—56 *	1.13, 16, 507; 4.347	9045—70 *	2.37, 38, 41, 86, 93
8034—67	3.242	9140—68 *	3.371
8074—71	4.624, 680	9150—59 *	1.272, 275, 276, 278, 321, 341; 3.441, 443, 451, 475; 4.279
8190—56 **	2.402		
8328—75	1.391, 410		
8239—72	2.680		
8240—72	2.679	9178—72	3.527
8276—63 *	2.680	9206—70 *	4.114
8278—75	2.680	9243—75	1.737
8281—69	2.680	9244—75	4.643
8282—57 *	2.680	9304—69	3.369
		9305—69 *	3.372

№ ГОСТа	Стр	№ ГОСТа	Стр.
9323—60 *	3.499, 506	10331—63 *	3.508, 510
9324—60 *	3.508, 509, 510, 512, 513	10356—63	4.297, 335, 419, 432, 444, 446, 448, 450
9359—73	2.627		
9368—60	1.671; 4.321	10383—75	4.624
9389—60 *	1.702; 2.199, 691	10387—73	4.681
9392—75	4.648, 649	10388—73	4.641
9433—60 *	1.740	10446—63	2.413
9440—60 *	2.606	10450—68 *	1.312
9450—60	2.36	10456—69	2.602
9454—60	2.27, 28, 41, 51	10498—63 *	2.699
9455—60	2.27	10500—63 **	2.246
9456—60	2.27, 41	10510—74	2.41
9459—60 **	1.698, 4.681	10541—63 *	1.735
9472—70 *	3.379, 619, 622	10549—63 *	4.614
9473—71 *	3.369	10587—72 *	2.623
9474—73	3.372	10593—74 *	4.621
9484—73	1.282—284	10600—74	5.423
9539—72	3.486	10673—75	3.371
9550—71	2.601	10702—63 *	2.86
9562—75	1.316, 345, 346, 348,	10704—63 *	2.699
		10707—73	2.699
9563—60 **	1.586	10748—68 *	1.358, 374, 467, 471; 4.283
9567—60 *	2.699		
9587—68	1.671	10851—73	2.626
9651—73	2.16, 41	10860—68	5.184
9696—75	4.621	10862—72	1.137
9740—71 *	3.450	10875—76	4.641
9774—61	1.680	10877—76	1.739
9776—61	1.698; 4.681	10885—74	2.683
9795—73	3.184, 298	10902—64	3.242
9867—61	1.13	10903—64	3.242
9925—61	2.261	10905—75	4.188, 644
9940—72 *	2.230, 699	10947—64	1.465, 559, 561, 570
9941—72 *	2.230, 699		
9942—75	1.392	10956—63	3.725, 727, 735
9974—62	1.741	10989—64	2.691
10007—72	2.608	10994—74	2.212, 214
10021—74	4.681	10996—64 *	3.495, 496
10025—62	2.440	11007—66	4.622
10044—73	3.298, 300—303	11012—69	2.602
10046—72	3.184, 357	11017—64	2.699
10047—62 *	3.184	11068—64 *	2.699
10054—75	4.23, 25, 188	11069—74	2.464
10059—62 *	3.500	11070—74	2.575
10079—71	3.287	11076—69	1.130
10080—71	3.287	11096—73	4.224
10081—71	3.292	11098—75	4.639
10082—72	3.292	11110—75 *	1.740
10084—73	4.214, 235	11141—76	4.652
10087—62 *	2.619	11150—65	2.15
10092—75	2.446, 700	11172—70	3.280, 282
10145—62	2.18, 46	11173—65	3.278
10155—62	2.262, 446	11174—65	3.278
10160—75	2.262, 265	11175—71	3.280, 282
10177—62	1.285, 286, 352—354	11177—71	3.292
		11179—71	3.292
10192—62 *	2.699, 700	11180—71	3.292
10197—70 *	4.622	11181—71	3.292
10210—74	4.224	11182—71	3.287
10212—68 *	4.219	11183—71	3.287
10222—62	3.527	11184—71	3.292
10286—75	1.520, 522	11188—65	3.456, 457
10292—62	1.622	11196—74	4.648

№ ГОСТа	Стр.	№ ГОСТа	Стр.
11198—75	4.625	13062—67	3.182
11262—68	2.601	13063—67	3.182
11268—65 *	2.683	13077—67 *	2.607
11269—65 *	2.683	13083—67	2.454, 455
11269—65 *	2.683	13097—70	5.423
11357—65	4.681	13135—72	5.423
11358—74	4.639	13214—67 *	4.381, 383
11371—68 *	1.312	13225—71 *	1.372
11383—65	2.420, 430, 700	13226—71 *	1.372
11521—65 *	1.428; 4.335	13227—71 *	1.372
11522—65 *	1.429; 4.395	13229—67 *	2.681
11523—65 *	1.430	13334—67 *	4.384
11524—65 *	1.431; 4.335	13344—67 *	4.23, 25, 1[illegible]8
11525—65 *	1.432; 4.335	13377—75	5.532
11607—65	1.433; 4.335	13419—68*	4.681
11608—65	1.434; 4.335	13518—68	2.602
11609—65	1.433; 4.335	13526—68	1.557
11610—65	1.434; 4.335	13537—68	2.602
11611—65	4.335	13548—68*	2.454, 700
11625—75	1.372	13552—68	1.562
11627—65	1.372	13568—75	3.638
11629—75	2.602	13585—68	2.45
11701—66	2.38, 39, 419	13726—68**	2.685
11703—66 *	4.627; 5.416	13744—68	2.609
11709—71 *	1.278	13785—68*	3.381
11710—71	3.116, 117	13786—68*	3.381
11737—74	4.207	13787—68*	3.381
11765—66 *	1.305,307; 4.279	13788—68*	3.381
11829—66	4.650	13789—68*	3.383
11849—66	2.378, 379, 380, 382	13790—68*	3.383
		13813—68	2.40
11850—72	2.691	13814—68	2.40
11902—66	3.567, 568	13819—68	2.58
11951—66 *	4.641	13838—68*	3.494
12015—66	2.602	13839—68	3.495
12019—66	2.602	13938.12—68	2.419
12020—72	2.602	13938.13—69	2.419
12021—75	2.602	14019—68	2.40, 419
12080—66 *	1.359, 460, 465, 467	14113—69	2.411
		14162—69	2.699
12081—72	1.358, 465, 467	14206—69*	4.625
12110—72	5.423	14294—75	4.230
12132—66 *	2.699	14332—69*	2.606
12271—66 *	2.607	14359—69	2.602
12327—66 *	4.341	14623—69	2.60
12328—66	4.144	14633—69	4.231
12369—66	4.673	14683—69*	4.625
12379—75	4.341	14687—69	4.625
12391—66	1.372	14711—69*	4.621
12489—71	3.267	14712—69*	4.621
12510—71	3.267	14755—74	5.423
12592—67 **	2.685	14756—69	5.423
12593—72	4.384, 392, 393, 415	14807—69*	4.613
		14808—69*	4.613
12595—72	4.384, 392, 393, 415	14809—69*	4.613
		14810—69*	4.613
12633—67 *	4.214, 235	14812—69*	4.613
12634—67 *	4.224	14813—69*	4.613
12717—67	3.457, 476	14814—69*	4.613
12766—67 *	2.274, 456	14815—69*	4.613
12920—67	2.430, 696	14822—69*	4.613
13006—67	4.680	14823—69*	4.614
13047.18—67 *	2.454	14824—69*	4.614
13052—74 *	5.463	14825—69*	4.614

№ ГОСТа	Стр.	№ ГОСТа	Стр.
14864—69	4.625	16320—70*	4.347, 349
14865—69	4.625	16337—70*	2.604
14891—69	2.132	16338—70*	2.604
14903—69	4.387, 392	16436—70	4.384
14904—69	4.465, 468	16463—70	3.371
14906—69*	2.609	16488—70	4.214
14952—69	3.251	16504—74	4.612
14955—69	2.678	16519—70	4.384
14959—69	2.197, 205	16523—70*	2.93
14968—69*	4.623	16682—71*	4.387, 392, 393
15023—69	3.519	16771—71	3.519, 638, 641, 642
15065—69	4.602		
15067—75	3.381	16775—71*	4.614
15067—75	3.381	16776—71*	4.614
15068—75	3.381	16777—71*	4.614
15069—75	3.381	16778—71*	4.613
15073—75	3.376	16779—71*	4.613
15074—75	3.376	16780—71*	4.613
15086—69*	3.370	16782—71	2.602
15088—69	2.602	16857—71	3.267
15089—69	2.602	16877—71	4.114, 118
15127—69	3.638, 640, 641	16886—71*	4.387, 392, 393
15139—69	2.602	16925—71*	3.456, 457
15171—70	4.144	16934—71	4.411
15173—70	2.602	16935—71	4.461
15471—70	2.419	16936—71	4.461
15527—70	2.401, 422, 423, 496	16984—71	4.205
		16985—71	4.206
15593—70	4.622, 623	17025—71*	3.369
15599—70	3.267	17026—71*	3.369
15600—70	3.267	17036—71	2.601
15809—70	2.610	17039—71*	3.451
15824—70	5.301	17088—71	2.602
15834—70	2.440	17163—71	2.668
15835—70	2.440, 678	17170—71	2.602
15883—70	2.685	17200—71	4.424, 425
15885—70	2.440	17201—71	4.424
15935—70	3.337	17217—71	2.446
15997—70	4.168, 231	17336—71	4.681
16025—70	5.423	17478—72	2.622
16093—70*	3.450, 456, 485	17519—72*	4.458
16130—72	2.420, 430	17528—72	4.427
16157—70	4.413, 414	17529—72	4.427
16162—70*	4.341	17530—72	4.427
16163—70	3.336	17531—72	4.428
16181—70*	4.341	17587—72*	3.450
16203—70	4.463	17648—72	2.617
16204—70	4.463	17711—72	2.425
16205—70	4.464	17770—72	4.214, 235
16206—70	4.461	17927—72*	3.459
16211—70	4.429	17930—72*	3.452, 459
16212—70	4.429	17932—72*	3.459
16213—70	4.429	17933—72*	3.450
16222—70	3.369	18101—72	5.423
16223—70*	3.369	18108—72*	5.423
16225—70*	3.369	18118—72	4.25
16226—70*	3.369	18150—72	3.371
16227—70	3.372	18151—72	3.371
16228—70*	3.372	18175—72	2.434
16229—70	3.372	18196—72	5.423
16230—70*	3.372	18237—72	4.466, 468
16231—70	3.371	18257—72	4.384
16319—70	4.347, 349		

№ ГОСТа	Стр.	№ ГОСТа	Стр.
18259—72	4.381, 383	19202—73	4.25
18358—73 до		19249—73	2.53
18368—73	4.614	19250—73	2.52
18393—73	3.370	19258—73	3.477
18437—73	4.429	19265—73	2.164, 168;
18438—73	4.429		3.630
18439—73	4.429	19282—73	2.129
18440—73	4.429	19299—73	4.652
18684—73	4.466	19300—73	4.652
18692—73	3.638, 641, 642	19325—73	3.548
18828—73	4.207	19326—73	3.569
18831—73	4.346, 347	19415—74	4.347
18833—73	4.629	19416—74	4.347
18887—73	3.356	19468—74	5.494
18888—73	3.356	19703—74	2.696
18889—73	3.356	19772—74	2.680
18890—73	3.356	19807—74	2.535
18891—73	3.356	19886—74	4.428
18892—73	3.356	19887—74	4.428
18893—73	3.356	19888—74	4.429
18894—73	3.356	19889—74	4.429
18934—73	3.370	19890—74	4.429
18935—73	3.370	19903—74	2.682, 683
18936—73	3.370	19904—74	2.682, 683
18937—73	3.370	20217—74	4.461
18938—73	3.370	20218—74	4.461
18940—73	3.370	20524—75	4.230
18941—73	3.370	20796—75	5.292
18942—73	3.370	21016—75	5.414, 415
18943—73	3.370	21277—55	4.415, 416, 417
18944—73	3.370	21278—75	4.415
18945—73	3.370	21279—75	4.415, 418
18946—73	3.370	21323—75	4.25
18947—73	3.370	21354—75	1.603
19086—73	3.187		

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ГОСТ 17194—76

Термин	Определение
Автоматизированная система управления технологическим процессом АСУ ТП	Автоматизированная система управления для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления в соответствии с принятым критерием управления
Автоматизированный технологический комплекс АТК	Совокупность совместно функционирующих автоматизированной системы управления технологическим процессом и технологического объекта управления
Критерий управления автоматизированной системы управления технологическим процессом. Критерий управления АСУ ТП	Соотношение, характеризующее качество работы технологического объекта управления в целом и принимающее числовые значения в зависимости от используемых управляющих воздействий
Подсистема автоматизированной системы управления технологическим процессом Подсистема АСУ ТП	Часть автоматизированной системы управления технологическим процессом, выделенная по функциональному или структурному признаку, отвечающему конкретным целям и задачам
Иерархия автоматизированной системы управления технологическим процессом Иерархия АСУ ТП	Порядок подчинения взаимосвязанных подсистем автоматизированной системы управления технологическим процессом
Функция автоматизированной системы управления технологическим процессом Функция АСУ ТП	Круг действий автоматизированной системы управления технологическим процессом, направленных на достижение частной цели управления
Информационная функция автоматизированной системы управления технологическим процессом Информационная функция АСУ ТП	Функция автоматизированной системы управления технологическим процессом, целью которой является сбор, преобразование, хранение информации о состоянии технологического объекта управления, представление этой информации оперативному персоналу или передача ее для последующей обработки
Управляющая функция автоматизированной системы управления технологическим процессом Управляющая функция АСУ ТП	Функция автоматизированной системы управления технологическим процессом, целью которой является выработка решений и осуществление управляющих воздействий на технологический объект управления
Вспомогательная функция автоматизированной системы управления технологическим процессом Вспомогательная функция АСУ ТП	Функция, обеспечивающая решение внутрисистемных задач

Продолжение

Термин	Определение
Функциональная структура автоматизированной системы управления технологическим процессом Функциональная структура АСУ ТП	Структура, элементами которой являются функции автоматизированной системы управления технологическим процессом, а связи между элементами отражают порядок реализации функций в АСУ ТП
Техническая структура автоматизированной системы управления технологическим процессом Техническая структура АСУ ТП	Структура, элементами которой являются части комплекса технических средств, а связи между ними представляют собой линии связи в автоматизированной системе управления технологическим процессом
Организационная структура автоматизированной системы управления технологическим процессом Организационная структура АСУ ТП	Структура взаимодействия оперативного персонала автоматизированной системы управления технологическим процессом
Комплекс технических средств автоматизированной системы управления технологическим процессом КТС АСУ ТП	Совокупность вычислительных и управляющих устройств, средств преобразования, отображения и регистрации сигналов, устройств передачи и обработки сигналов и данных, исполнительных устройств, достаточная для выполнения всех функций автоматизированной системы управления технологическим процессом
Техническое обеспечение автоматизированной системы управления технологическим процессом Техническое обеспечение АСУ ТП	Комплекс технических средств, предназначенных для обеспечения работы автоматизированной системы управления технологическим процессом
Информационное обеспечение автоматизированной системы управления технологическим процессом Информационное обеспечение АСУ ТП	Совокупность системы классификации и кодирования технологической и технико-экономической информации, сигналов, характеризующих состояние автоматизированного технологического комплекса, массивов данных и документов, необходимых для выполнения всех функций автоматизированной системы управления технологическим процессом
Организационное обеспечение автоматизированной системы управления технологическим процессом Организационное обеспечение АСУ ТП	Совокупность описаний функциональной, технической и организационной структур, инструкций и регламентов для оперативного персонала автоматизированной системы управления технологическим процессом, обеспечивающая заданное функционирование автоматизированного технологического комплекса
Программное обеспечение автоматизированной системы управления технологическим процессом Программное обеспечение АСУ ТП	Совокупность программ, обеспечивающая реализацию функций автоматизированной системы управления технологическим процессом, заданное функционирование комплекса технических средств АСУ ТП и предполагаемое развитие системы

Термин	Определение
Общее программное обеспечение автоматизированной системы управления технологическим процессом ОПО АСУ ТП	Часть программного обеспечения автоматизированной системы управления технологическим процессом, представляющая собой совокупность программ, поставляемая в комплекте со средствами вычислительной техники
Специальное программное обеспечение автоматизированной системы управления технологическим процессом СПО АСУ ТП	Часть программного обеспечения, представляющая собой совокупность программ, разрабатываемая при создании системы и включающая программы реализации ее функций
Пакет прикладных программ автоматизированной системы управления технологическим процессом Пакет прикладных программ АСУ ТП	Часть программного обеспечения автоматизированной системы управления технологическим процессом, представляющая собой совокупность программ, реализующих группу однородных функций и программу их настройки для конкретного технологического объекта управления
Вычислительный комплекс автоматизированной системы управления технологическим процессом Вычислительный комплекс АСУ ТП	Часть комплекса технических средств автоматизированной системы управления технологическим процессом, представляющая собой совокупность вычислительных устройств, обеспечивающую выполнение вычислительного процесса
***Информационный* вычислительный комплекс автоматизированной системы управления технологическим процессом** ИВК АСУ ТП	Совокупность вычислительного комплекса автоматизированной системы управления технологическим процессом показывающих и регистрирующих приборов, средств сбора, переработки, оперативного отображения и регистрации информации, обеспечивающая выполнение информационных функций системы
Управляющий вычислительный комплекс автоматизированной системы управления технологическим процессом УВК АСУ ТП	Совокупность технических средств, включающая вычислительный комплекс, предназначенная для выработки и реализации управляющих воздействий или выдачи рекомендаций по управлению технологическим объектом управления
Оперативный персонал автоматизированной системы управления технологическим процессом Оперативный персонал АСУ ТП	Технологи-операторы автоматизированного технологического комплекса, осуществляющие управление технологическим объектом управления в составе АТК, и эксплуатационный персонал
Совместимость автоматизированной системы управления технологическим процессом Совместимость АСУ ТП	Возможность взаимосвязанного функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами разных уровней и различного функционального назначения
Надежность автоматизированной системы управления технологическим процессом Надежность АСУ ТП	Способность системы выполнять функции, сохраняя эксплуатационные показатели в установленных пределах в течение заданного интервала времени при заданных условиях эксплуатации
Устройство связи с объектом УСО	Совокупность устройств получения и преобразования сигналов контроля и управления, коммутации каналов передачи сигналов и исполнительных устройств

Примечание. Стандартизованные термины набраны полужирным шрифтом, их краткая форма — светлым.

ИБ № 2005

Виктор Павлович *Бобров*, Борис Львович *Богуславский*,
Дмитрий Ефимович *Гиндин*, Роман Ефимович *Говсиевич*,
Борис Иосифович *Горенштейн*, Лев Никанорович *Грачев*,
Владимир Иванович *Дементьев*, Валерий Кузьмич *Замятин*,
Юрий Викторович *Иванов*, Юрий Георгиевич *Ковырев*,
Алексей Николаевич *Малов*, Николай Николаевич *Марков*,
Александр Александрович *Моисеев*, Михаил Павлович *Новиков*,
Григорий Аркадьевич *Островский*, Назим Музаффар оглы *Султан-Заде*,
Борис Ильич *Черпаков*

СПРАВОЧНИК МЕТАЛЛИСТА

Том 5

Редактор И. С. Форстен
Технические редакторы Л. П. Гордеева и Н. Ф. Демкина
Корректоры А. П. Озерова и Н. И. Шарунина
Переплет художника А. Я. Михайлова

Сдано в набор 21.02.78. Подписано в печать 19.09.78.
Т-18003. Формат 84 × 108¹/₃₂. Бумага типографская № 3.
Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 35,7.
Уч.-изд. л. 47,25. Тираж 125 000 (3-й з-д 80 001—125 000) экз.
Заказ 1089. Цена 2 р. 60 к.

Издательство «Машиностроение», 107885, г. Москва, ГСП-6,
1-й Басманный пер., 3

Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
193144, Ленинград, С-144, ул. Моисеенко, 10

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Справочник металлиста, том 4

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
14	9-я снизу	ГОСТ 3060—55	ГОСТ 3060—75
	17-я снизу	ГОСТ 4785—64*	ГОСТ 2424—75
19	Табл 7, 2-й заголовок сверху	ГОСТ 2447—76	ГОСТ 2447—64
23	17-я сверху	ГОСТ 6456—68*	ГОСТ 6456—75
	19-я сверху	ГОСТ 6456—68*	ГОСТ 6456—75
	28-я сверху	ГОСТ 6456—68*	ГОСТ 6456—75
25	11-я сверху	ГОСТ 4785—64	ГОСТ 2424—75
	7-я снизу	ГОСТ 6456—68	ГОСТ 6456—75
296	Табл 6, название	посадках	видах сборки
	Табл 6, головка, 1-я сверху	Продольные посадки	Продольная сборка
	Табл. 6, головка, 1-я сверху	Поперечные посадки	Поперечная сборка
297	10-я снизу	холодной	продольной
298	5-я сверху	от 4—5	4—5
300	16-я сверху	при которых	когда
	2-я снизу	подвижных *2* и неподвижных *3*	подвижных *3* и неподвижных *2*
301	5-я сверху	обмотками *3*	обмотками *2*
	7-я сверху	ков *2*	ков *3*
316	Табл 14, головка, графа 10	10 000	1000
318	Рис 38, внизу слева	β_1	β_7

Продолжение

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
321	Табл 18, головка	m_{Si}	m
325	2-я снизу	$\frac{l}{3600}$	$\frac{l}{206\,000}$
347	Табл 31, графа 2, 27-я сверху	ГОСТ 7713—62*	ГОСТ 7713—63, СТСЭВ 144—75, СТСЭВ 145—75
348	Табл. 31, графа 1, 2-я снизу	Сокращение	Совершенствование
392	Табл 22, графа 1, 9-я сверху	ГОСТ 12595—75	ГОСТ 12595—72
	Табл. 22, графа 1, 1-я снизу	ГОСТ 12595—75	ГОСТ 12595—72
	Табл. 22, графа 1, 10-я снизу	ГОСТ 12595—75	ГОСТ 12595—72
393	Табл 22, графа 1, 9-я сверху	ГОСТ 12595—75	ГОСТ 12595—72
415	6-я снизу	ГОСТ 12595—75	ГОСТ 12595—72
449	Табл. 48, графа 4, 1-я снизу	III—V	II—III и грубее
527	Табл. 81	Во всех формулах для W вместо $\operatorname{tg}\varphi$ должно быть $\frac{3l}{a}\operatorname{tg}\varphi$	
528	Табл. 81, графа 2, 3-я сверху	W	$2W$
	Табл. 81, графа 2, 4, 7-я сверху	$2L$	L
532	Табл 83, эскизы	$\frac{d}{D}$	$\frac{d_3}{D_1}$
533	Табл. 83, графа 2, 12-я сверху	$\frac{\pi}{16}(D_1+d_3)p-q$	$\frac{\pi}{12}\left(D_1^2+D_1d_3+d_3^2\right)\rho\eta$

Продолжение

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
533	Табл. 83, графа 4-я сверху	$\approx D-2t\ (2\div4)$ мм	$\approx D_1 - 2\lambda - (2\div4)$ мм (λ — код пневмокамеры)
	Табл. 83, графа 2, 3-я сверху	$\frac{\pi}{16}(D_1 + d_3)p$	$\frac{\pi}{12}\left(D_1^2 + D_1 d_3^2\right)p\eta$
618	Табл. 6, графа 7, 4-я снизу	ЧЗМИ	ЧИЗ
636	Таблица к рис. 16, графа 5, 1, 2, 3, 4-я снизу	13,0	31,3
640	Табл. 5, графа 1, 1-я сверху	МР	МРИ
683	2-я сверху	[15]	[16]
	26-я снизу	[12, 15]	[13, 16]
	5-я снизу	[15]	[16]
686	14-я сверху	[14, 15]	[15, 16]
	24-я снизу	[15]	[16]
687	7-я сверху	[12, 15]	[13, 16]
	9-я снизу	[12]	[13]
690	18-я сверху	[12]	[13]
691	21-я сверху	[15]	[16]
	9-я снизу	[12]	[13]