

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Н. М. ФЕДОСОВ

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ.
МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ**

**Курс лекций
для студентов инженерных специальностей**

**Рекомендовано к печати научно-методическим
советом университета**

**Барановичи
РИО БарГУ
2010**

УДК 620(042.4)

ББК 34.63-573

К64

А в т о р

Н. М. Федосов

Р е ц е н з е н т ы:

К. Е. Бутрим, главный конструктор
РУПП «Барановичский завод автоматических линий»;
Н. В. Чичкан, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Технология машиностроения» БарГУ

Федосов, Н. М.

К64 **Конструирование и расчет технологического оборудования**
[Текст] : курс лекций для студентов инженер. специальностей /
Н. М. Федосов. — Барановичи : РИО БарГУ, 2010. — 144, [4] с. : ил. —
80 экз. — ISBN 978-985-498-375-2.

В курсе лекций изложены основные принципы проектирования металлорежущих станков, т. е. анализ исходных данных и технических характеристик, даны разработки принципиальных и кинематических схем, компоновки и конструкций узлов.

В учебном издании освещены материалы, предусмотренные программой курсов по изучению конструкции и устройства металлорежущих станков.

Книга предназначена для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений, а также инженерно-технического персонала машиностроительных предприятий, занимающегося проектированием и эксплуатацией металлорежущего оборудования.

Табл. 4. Рис. 292.

УДК 620(042.4)

ББК 34.63-5я73

© Федосов Н. М., 2010

© БарГУ, 2010

ISBN 978-985-498-375-2

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
Глава 1 Приводы главного движения	8
1.1 Процесс конструирования станков и станочных систем	8
1.1.1. Этапы проектирования станков	8
1.2 Главные моменты при конструировании станков и станочных систем	10
1.2.1 Расчет и выбор основных параметров станка	10
1.2.2 Выбор метода формообразования	13
1.2.3 Проектирование кинематической схемы станка [3]	15
1.3 Механизмы станков. Конструирование и расчет исполнительных механизмов приводов главного движения, подачи, вспомогательных перемещений	17
1.4 Приводы подач	18
1.5 Проектирование механизмов управления, целевых механизмов управления, целевых механизмов устройств автоматизации, механизмов обеспечения точности и безопасности эксплуатации станочного оборудования	20
1.6 Приводы главного движения	24
1.6.1 Ряды частот вращения шпинделя [3]	24
1.6.2 Множительные структуры	27
1.6.3 Конструирование приводов со ступенчатым регулированием скорости [3; 16]	27
1.6.4 Расчет и конструирование приводов с бесступенчатым регулированием скорости на основе механических вариаторов и других способов [4]	30
1.6.5 Расчет и конструирование приводов с бесступенчатым регулированием скорости на основе регулируемых электродвигателей [4; 13]	33
1.6.6 Особенности проектирования и расчета главного привода	36
1.7 Шпиндельные узлы	36
1.7.1 Разработка структурно-компоновочного решения шпиндельного узла [16]	36
1.7.2 Выбор и расчет опор шпинделя [4]	38
1.7.3 Конструирование и расчет шпиндельного узла на стадии эскизного проекта	41
1.7.4 Расчет шпиндельного узла на жесткость	42
1.7.5 Обеспечение динамического качества шпиндельного узла [3]	44
1.7.6 Разработка смазочной системы [4]	44
1.7.7 Обоснование выбора материала шпинделя [4]	45
1.7.8 Обоснование технических требований и разработка методов технологического обеспечения качества шпиндельного узла [4]	46

Г л а в а 2	Приводы подачи	46
	2.1 Разработка структурно-компоновочной схемы [4]	46
	2.2 Оптимизация привода подачи [4]	47
	2.3 Оптимизация кинематической структуры привода подачи со ступенчатым регулированием [4]	48
	2.4 Расчет и конструирование деталей и механизмов приводов со ступенчатым и бесступенчатым регулированием на стадии эскизного и рабочего проектирования [14]	50
	2.5 Обеспечение беззазорности	51
	2.6 Обеспечение статических и динамических характеристик приводов подач (для приводов подач с бесступенчатым регулированием) [4]	52
	2.7 Обоснование технических требований и методов технологического обеспечения качества привода [3]	53
	2.8 Тяговые устройства приводов [12]	54
	2.9 Расчет и конструирование механизмов прямолинейного и кругового перемещения с трением скольжения и трением качения [13]	55
	2.10 Расчет конструкции «винт-гайка качения» [13]	58
	2.11 Применение гидравлических и электромагнитных механизмов [12]	60
	2.12 Гидростатические передачи винт-гайка [12]	61
	2.13 Конструкции устройств для микроперемещений [12]	62
Г л а в а 3	Базовые детали станков	64
	3.1 Выбор конструктивной формы станин, стоек, колонн, оснований, плит. Особенности конструирования базовых деталей. Обеспечение жесткости, температуростойкости	64
	3.2 Разработка расчетной схемы несущей системы станка и расчет на жесткость [16]	65
	3.3 Расчетная схема несущей системы токарного станка и определение сил, действующих на базовые детали токарного станка [16]	66
	3.4 Расчет конечно-элементной модели несущей системы станка [16] . . .	67
	3.5 Расчет на жесткость [16]	68
	3.6 Выбор материалов	69
	3.7 Разработка формы базовых деталей на основе художественного конструирования	70
Г л а в а 4	Направляющие	71
	4.1 Выбор конструкции направляющих станка по типу требования [12]	71
	4.2 Обоснование выбора конструктивной формы и параметров направляющих [13]	72
	4.3 Конструирование и расчет направляющих смешанного трения [12]	72
	4.3.1 Конструктивное оформление направляющих [12]	74
	4.4 Гидродинамические направляющие [12]	77
	4.5 Гидростатические направляющие [12]	79

4.6	Аэростатические направляющие [12]	79
4.7	Направляющие качения [12]	81
4.8	Комбинированные направляющие	83
4.9	Конструирование смазочной системы и защиты направляющих ...	83
4.10	Обоснование технических требований и методов технологического обеспечения качества направляющих ...	84
4.11	Смазка направляющих [6]	84
Глава 5	Смазочные системы станков различных типов	85
5.1	Обоснование конструкции и принципиальной схемы системы по режиму смазывания [9]	85
5.2	Определение расхода смазочного материала [6]	86
5.3	Проектирование системы и устройств для смазывания в агрегатных станках, линиях, универсальных станках и в станках с числовым программным управлением	87
Глава 6	Автоматизация и конструктивные особенности устройств станков различного типа	89
6.1	Устройство для загрузки заготовок	89
6.2	Конструирование и расчет промышленных роботов для загрузки и выгрузки заготовок	95
6.3	Устройство для автоматического зажима заготовок [16]	97
6.3.1	Конструирование цапговых механизмов, зажимных патронов [16]	98
6.3.2	Трехкулачковые самоцентрирующиеся стандартные патроны спирально-реечные, стандартные четырехку- лачковые патроны с независимым перемещением кулачков [16]	99
6.4	Конструирование приспособлений-спутников [12]	100
6.5	Устройства для смены инструмента	101
6.5.1	Обоснование для выбора устройств автоматической смены инструментов [13]	101
6.5.2	Конструирование и расчет инструментального магазина и автооператора для токарных и фрезерно-сверлильно- расточных многоцелевых станков	105
6.5.3	Обеспечение кодирования, поиск инструмента и передачи информации в инструментальных системах. Проектирование механизмов зажима инструментов [12]	108
Глава 7	Повторно-фиксирующие механизмы	109
7.1	Механизмы автоматического зажима подвижных рабочих органов [10]	109
7.2	Конструирование и расчет шпиндельных блоков, каруселей, револьверных головок, поворотных столов	110
7.3	Конструирование и расчет механизмов поворота, фиксации и зажима, пинолей и головок [10]	112
7.4	Обеспечение точности фиксации поворотных устройств станка [10]	114
7.5	Устройства для отвода стружки [16]	115

	7.6 Системы уравнивания. Проектирование механических, гидравлических, пневматических систем уравнивания [6] . . .	117
Г л а в а 8	Техника применения смазочно-охлаждающих технологических средств в металлообработке [16]	119
	8.1 Конструирование устройств подачи жидких, твердых и газообразных смазочно-охлаждающих технологических средств в рабочую зону станка при лезвийной и абразивной обработке [16]	119
	8.2 Обеспечение очистки, стабилизации цен, качества, обеззараживания и утилизации, регенерации и рекуперации смазочно-охлаждающих технологических средств, очистки сточных вод [16]	121
Г л а в а 9	Принципы проектирования автоматических станков и линий [5] . . .	122
Г л а в а 10	Проектирование станков с числовым программным управлением и агрегатных станков [8; 18]	127
	10.1 Приводы главного движения [8]	129
	10.2 Проектирование гибких производственных систем [8] . . .	130
	10.3 Проектирование агрегатных станков [4]	133
Г л а в а 11	Основы художественного конструирования станков. Гармонизация формы станков, обеспечение требований эргономики [10]	135
	11.1 Гармонизация формы станков пропорционированием [10] . . .	136
	11.2 Обеспечение требований эргономики [10]	137
Г л а в а 12	Математическое моделирование и система автоматизированного проектирования станков [11; 19]	139
	12.1 Оптимизация	140
	12.2 Система автоматизированного проектирования станков [13] . . .	143
	Список использованных источников	146

Введение

Станкостроение является одной из важнейших отраслей народного хозяйства. В процессе создания прогрессивных, экономичных и экологически безвредных автомобилей, тракторов и других машин металлорежущие станки играют определяющую роль.

Профессиональная деятельность конструктора-станкостроителя заключается в создании на основе накопленных инженерных знаний и практического опыта металлорежущего станка, отвечающего требованиям заказчика по цене, занимаемой площади и таким экологическим факторам, как уровень шума, вредные выделения и др.

Труд конструктора многогранен: ему приходится заниматься поиском новых решений и компоновками, экспериментированием и исследованиями, контролем за уже разработанными чертежами и доводкой создаваемого изделия, согласованием заданий проектов с заказчиком.

Анализ уже созданного может привести конструктора к выводу о том, что не следует разрабатывать новую конструкцию, а необходимо совершенствовать, дорабатывать имеющуюся, вдыхать в нее новую жизнь, новое содержание.

Конструктору всегда приходится заниматься поиском оптимального решения. Часто правильное решение может быть принято только после проведения технико-экономических расчетов или лабораторных испытаний, после проработки целого ряда вариантов.

Республика Беларусь среди стран СНГ занимает передовые позиции в области станкостроения.

Глава 1

ПРИВОДЫ ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

1.1 Процесс конструирования станков и станочных систем

1.1.1. Этапы проектирования станков

Весь процесс проектирования станков разделяется на ряд последовательных этапов. Выполнение работ требует учета влияния различных этапов друг на друга, так как все они взаимосвязаны. Конструкция одного узла оказывает влияние на многие другие, а окончательный выбор компоновки станка, например, существенно влияет на конструкцию ряда узлов.

Процесс конструирования станков и станочных систем состоит из следующих этапов (рис. 1.1):

- 1) технического задания;
- 2) технического предложения;
- 3) эскизного проекта;
- 4) технического проекта;
- 5) рабочего проекта.

В техническом задании дается информация о функциональном назначении станка и уточняются его основные технико-экономические параметры.

В исходных данных необходимо указать потребность в размерной обработке множества деталей, а также количество обрабатываемых деталей и их разнообразие. Сведения об обрабатываемых деталях служат основой для выбора соответствующих видов обработки и необходимых режущих инструментов. Исходные данные после тщательного анализа и уточнения определяют функциональное (служебное) назначение станка и его технико-экономические параметры — производительность, точность, универсальность, надежность и экономическую эффективность. Данные об обрабатываемых деталях являются основанием для определения технических характеристик станка — диапазона рабочих скоростей и скорости вспомогательных движений.

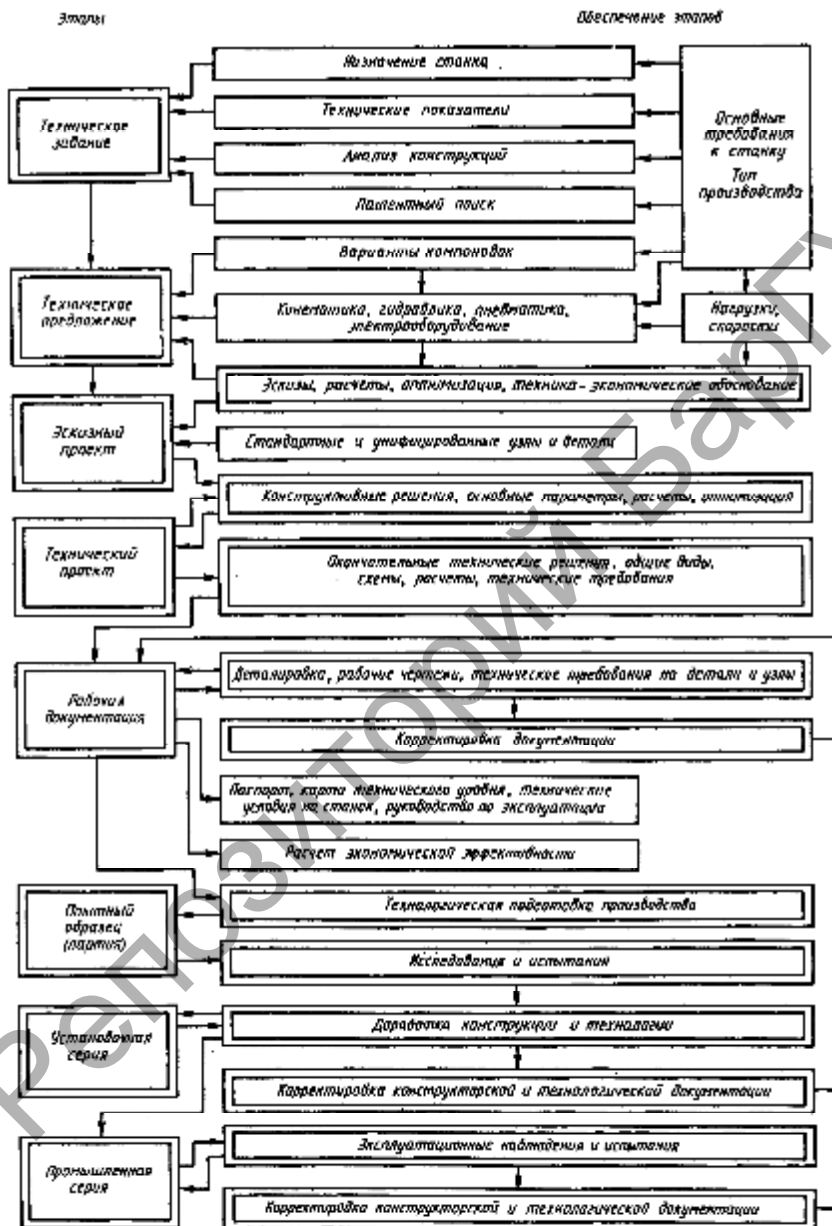


Рисунок 1.1 — Основные этапы проектирования и освоения новых станков

Конструирование станка — это творческий, логический мыслительный процесс, в котором соединены опыт и интуиция, но полагаться только на интуицию нельзя. Решение, к которому приходит конструктор в процессе конструирования, является оптимальным (лишь с минимальным количеством недостатков).

Большой экономический эффект получается при использовании стандартных унифицированных устройств и элементов. При этом не требуется проектирование отдельных узлов и деталей.

При проектировании станков широко используется стандартизация, модульный принцип базовых моделей, моделирование, а также различные компьютерные технологии [10; 11].

1.2 Главные моменты при конструировании станков и станочных систем

1.2.1 Расчет и выбор основных параметров станка

Основными параметрами, характеризующими проектируемый станок, являются эффективность, производительность, надежность, гибкость, точность, уровень безопасности станка, безопасность, удобство, экологичность, ресурсосбережение.

Эффективность можно рассматривать как целевую функцию:

$$A = \frac{N}{\sum c} \rightarrow \max.$$

При заданной годовой программе выпуска формула приводится к минимуму приведенных затрат:

$$\begin{aligned} \sum c &\rightarrow \min; \\ P &= (\sum c)_1 - (\sum c)_2, \end{aligned}$$

где $(\sum c)_1$ — более совершенный вариант;

$(\sum c)_2$ — базовый вариант.

Производительность определяется по формуле

$$Q = \frac{T_0}{T},$$

где T_0 — годовой фонд времени;

T — полное время цикла изготовления детали.

Надежность станка — свойство станка обеспечивать годную продукцию в заданном количестве в течение определенного срока службы при условии правильной эксплуатации (технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортировки).

Безотказность станка — свойство станка непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени.

Вероятность отказа станка определяют по формуле

$$Q_{(t)} = \frac{N_{ot}}{N_o},$$

где N_{ot} — количество элементов, которые вышли из строя;

N_o — общее количество элементов.

Последний показатель рассчитывается по формуле

$$N_{ot} = N_o - N_u,$$

где N_o — общее количество элементов;

N_u — количество исправных элементов.

Гибкость станочного оборудования — способность к быстрому переналаживанию при изготовлении других деталей.

Гибкость характеризуется двумя показателями: универсальностью и переналаживаемостью.

Точность станка предопределяет точность обработанных на нем изделий.

Геометрическая точность станка определяется точностью изготовления деталей и качеством сборки.

Кинематическая точность — согласованность относительных перемещений узлов станка, на которых находятся заготовки и инструмент, а также точность деления.

Жесткость станков — отношение силы к соответствующей упругой деформации:

$$J = \frac{F}{\Delta}.$$

Величина, обратная жесткости, — это *податливость*, которая определяется по формуле

$$C = \frac{1}{J} = \frac{\Delta}{F}.$$

Точность позиционирования характеризуется ошибкой вывода узла станка в заданную позицию по одной или нескольким координатам [13].

Формирование структурно-компоновочной схемы. Компоновка станка обеспечивает заданный набор исполнительных движений, необходимых для формообразований детали в процессе обработки на станке. Главным условием для компоновки станка является его кинематическая структура, которая реализует совокупность определенного числа прямолинейных и вращательных движений, формирующих требуемую форму обрабатываемых деталей.

Компоновка станка влияет на (рис. 1.2, 1.3):

- 1) точность обработки, так как от нее зависит жесткость станка;
- 2) универсальность станка;
- 3) экономическую эффективность станка.

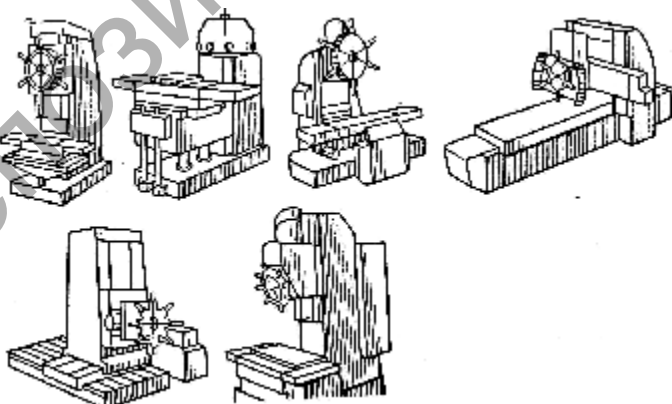
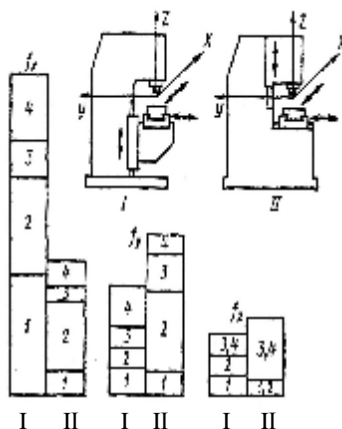


Рисунок 1.2 — Варианты структурных компоновок станков



1 — деформация колонны;
 2 — деформация станины или консоли;
 3 — смещение в горизонтальных направляющих; 4 — смещение в вертикальных направляющих;
 f_x, f_y, f_z — упругие перемещения инструмента относительно заготовки соответственно по осям x, y, z

Рисунок 1.3 — Влияние компоновки на жесткость несущей системы станка на примере консольного (I) и бесконсольного (II) фрезерных станков

1.2.2 Выбор метода формообразования

Поверхности деталей различных механизмов образуются в процессе обработки (при резании, путем комбинации вращательных и прямолинейных перемещений режущего инструмента и заготовок). При этом реальные поверхности, получаемые при обработке, отличаются от идеальных (рис. 1.4).

Поверхности получают движением образующей (производящей) линии по другой производящей линии, называемой направляющей [12].

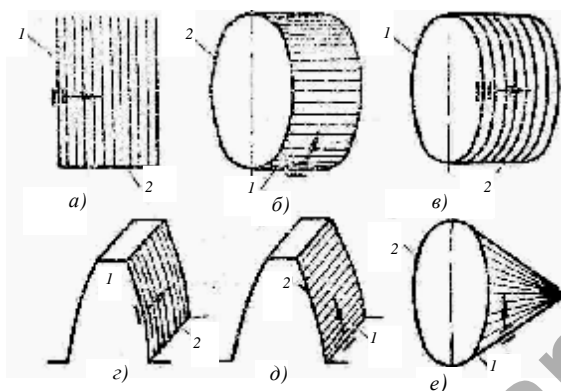


Рисунок 1.4 — Схемы образования поверхностей

Например, плоскость получается при перемещении образующей прямой линии 1 по направляющей прямой линии 2 (см. рис. 1.4, a). Цилиндрическая поверхность образуется при перемещении образующей прямой линии 1 по направляющей линии — окружности 2 (см. рис. 1.4, b) или образующей окружности 1 по направляющей прямой линии 2 (см. рис. 1.4, $в$). Рабочая поверхность зуба цилиндрического колеса получается при перемещении образующей линии — эвольвенты 1 по направляющей прямой 2 (см. рис. 1.4, $г$) или образующей прямой 1 по направляющей — эвольвенте 2 (см. рис. 1.4, $д$).

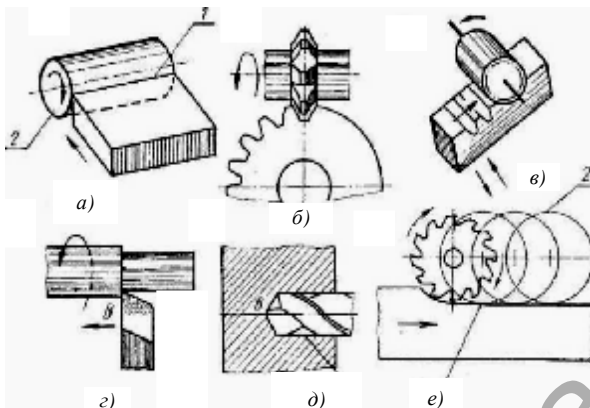
На рисунке 1.5, a , приведены примеры воспроизводства производящих линий методом копирования: 1 — образующая линия, 2 — направляющая линия (вращение заготовки).

На рисунке 1.5, $б$, изображены (метод копирования):

- 1) вращение фрезы (образующая линия);
- 2) прямолинейное перемещения заготовки или фрезы (направляющая линия).

На рисунке 1.5, $в$, представлен метод обкатки:

- 1) при вращении заготовки и согласованном прямолинейном перемещении рейки или при перекатывании зубчатого колеса — впадина колеса (образующая линия);
- 2) прямолинейное перемещение инструмента или заготовки вдоль колеса (направляющая линия).



a, б — метод копирования; *в* — метод обкатки;
г, д — метод следа; *е* — метод касания;
1 — образующая линия; *2* — направляющая линия

Рисунок 1.5 — Примеры воспроизводства производящих линий

На рисунках 1.5, *г—д*, показан метод следа:

- 1) точка В касается образующей линии *1*;
- 2) направляющая линия — вращение заготовки (см. рис. 1.5, *г*) или инструмента (см. рис. 1.5, *д*).

На рисунке 1.5, *е*, изображен метод касания: образующая линия *1* возникает как касательная к ряду геометрических вспомогательных движений линии *2*.

Таким образом, для формообразования различных поверхностей необходимо установить такие формообразующие движения заготовки и инструмента, которые воспроизводят образующие и направляющие линии с удалением при этом имеющегося на заготовке припуска.

1.2.3 Проектирование кинематической схемы станка [3]

Определенное исполнительное движение в станке создается благодаря кинематической связи между его исполнительными звеньями и кинематической связи этих звеньев с источником движения. Обе кинематические связи образуют кинематическую группу. Последняя

создает определенное исполнительное движение с задающими параметрами, траекторию, путь, скорость и направление движения.

Кинематические связи условно изображают схемами, которые называются структурами.

Структура кинематической группы состоит из внутренней и внешней кинематических связей (рис. 1.6).

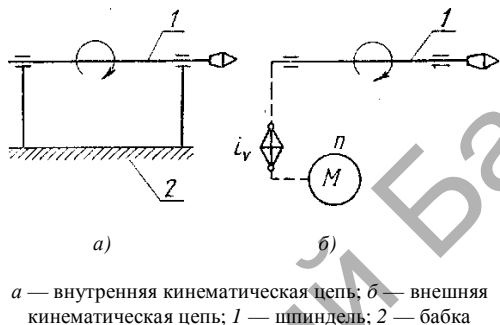
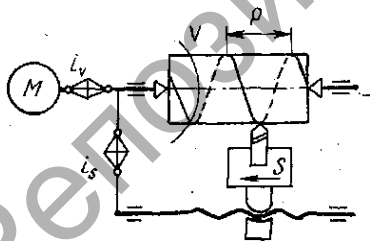


Рисунок 1.6 — Кинематическая связь

Примером простой внутренней связи является вращающийся шпindelь 1 (исполнительное звено) в бабке 2 (см. рис. 1.6, а). Внешняя кинематическая связь определяет связь между подвижным исполнительным звеном 1 (см. рис. 1.6, б) и источником движения (электродвигателем М).



i_v — орган настройки внешней кинематической связи; i_s — орган настройки внутренней кинематической связи

Рисунок 1.7 — Структурная кинематическая схема токарно-винторезного станка

Структурная кинематическая схема токарно-винторезного станка с резьбонарезной цепью изображена на рисунке 1.7.

При необходимости осуществления деления в кинематическую группу вводится специальное делительное устройство, например, делительный диск 2 с фиксатором 1 (рис. 1.8).

Структурная схема токарного станка с резьбонарезной цепью состоит

из внешней кинематической связи, настраиваемой органом настройки i_v , внутренней кинематической связи, настраиваемой органом настройки i_s (см. рис. 1.7).

Для получения необходимого шага резьбы P_n необходимо орган настройки i_s настроить так, чтобы за один оборот детали резец перемещался на один шаг. Для этого нужно составить уравнение кинематического баланса и спроектировать кинематическую схему исполнительного органа i_s и общую кинематическую схему станка.

Уравнение кинематического баланса резьбонарезной цепи выглядит следующим образом:

$$1 \text{ о.ш.} i_{is} k_b P_b = k_n P_n,$$

где i_{is} — передаточные отношения органа настройки резьбонарезной цепи;

k_n и P_n — соответственно число заходов и шаг нарезаемой резьбы;

k_b и P_b — соответственно число заходов и шаг ходового винта станка.

Уравнение кинематического баланса скоростной цепи имеет вид:

$$n_3 i_{iv} = n,$$

где n_3 — число оборотов электродвигателя;

i_{iv} — передаточное отношение органа настройки скоростной цепи.

1.3 Механизмы станков.

Конструирование и расчет исполнительных механизмов приводов главного движения, подачи, вспомогательных перемещений

Приводы главного движения бывают со ступенчатым и бесступенчатым (плавным) регулированием скорости. Ступенчатый привод главного движения применяется в основном в универсальных станках,

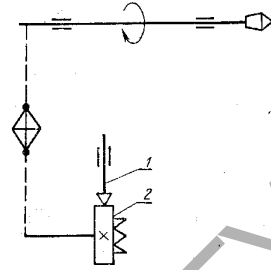


Рисунок 1.8 — Структурная схема деления

которые просты, компактны, имеют высокий коэффициент полезного действия (КПД) и долговечны. Однако они не пригодны для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), так как не всегда обеспечивают требуемую частоту вращения и не позволяют оптимально регулировать скорость резания в процессе выполнения цикла обработки.

Частота вращения шпинделя представляет собой геометрический ряд со знаменателем φ :

$$n_1 = n_{\min}, n_2, n_3 \dots n_z = n_{\max},$$

где z — число ступеней частот.

Основные зависимости геометрического ряда — члены ряда: n_1 ; $n_2 = n_1\varphi$; ... ; $n_z = n_1\varphi^{z-1}$. Каждый последующий член геометрического ряда определяется умножением предыдущего на знаменатель геометрического ряда φ , где z — число частот шпинделя привода главного движения или количество ступеней подач привода подачи.

Диапазон регулирования привода определяется по формуле

$$R = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{n_1\varphi^{z-1}}{n_1} = \varphi^{z-1}.$$

Бесступенчатые приводы применяются в основном в станках с ЧПУ. Регулирование осуществляется путем изменения частоты или силы тока в двигателях постоянного тока. Для получения необходимых силовых характеристик бесступенчатые приводы применяются в сочетании с простыми редукторами и коробками скоростей.

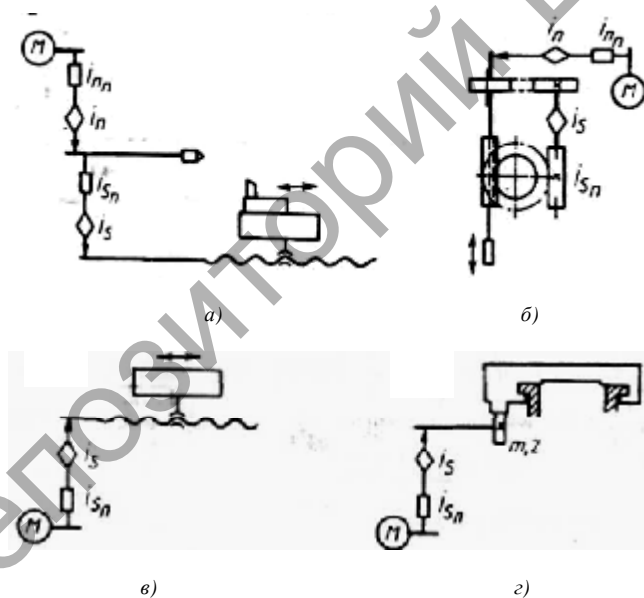
1.4 Приводы подач

Существуют электромеханические приводы подач с (со):

- 1) бесступенчатым регулированием, которыми оснащают станки с числовым программным управлением и гибкими производственными модулями (ГПМ). Они обеспечивают широкий диапазон режимов обработки, максимальную производительность, высокую точность исполнительных органов. Приводы бывают следящие и шаговые;
- 2) ступенчатым регулированием.

Токарно-винторезные, вертикально-сверлильные и станки других типов имеют приводы подач, кинематически связанные с главным движением. Для изменения подачи применяют коробки подач с передвижными колесами или электромагнитными муфтами, сменные зубчатые колеса и специальные механизмы.

Исходными данными при проектировании привода подачи со ступенчатым регулированием являются минимальная подача S_{\min} , максимальная подача S_{\max} , число ступеней z , тип ряда подач (геометрический или арифметический), тип станка, для которого проектируется привод. С типом станка связаны структура привода подачи (общая или раздельная), характер движения подачи (непрерывный или периодический), вид тягового механизма, уровня скорости подачи, необходимая точность, класс (рис. 1.9).



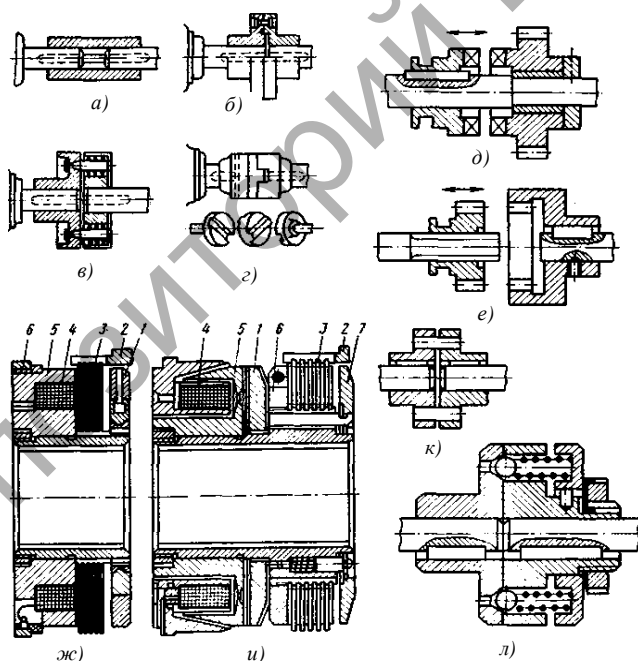
a, б — токарно-винторезные, вертикально-сверлильные и другие (привод подачи от шпинделя станка); *в, г* — фрезерные и другие станки (отдельные приводы подачи)

Рисунок 1.9 — Структуры приводов подачи со ступенчатым регулированием

1.5 Проектирование механизмов управления, целевых механизмов управления, целевых механизмов устройств автоматизации, механизмов обеспечения точности и безопасности эксплуатации станочного оборудования

Дисковые электромагнитные муфты используются для дистанционного управления в основном в автоматических коробках передач (рис. 1.10, *и, жс*) [9].

В контактной электромагнитной муфте, изображенной на рисунке 1.10, *жс*, ток подводится к катушке 4 электромагнита через щетку, поджатую к вращающемуся контактному кольцу 6. В бесконтактной электромагнитной муфте, изображенной на рисунке 1.10, *и*,



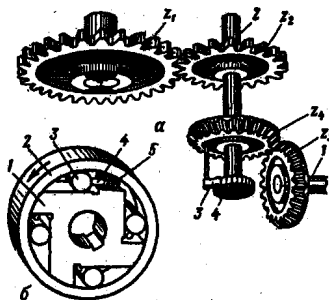
а, б, в, г — постоянные муфты; *д, е* — сцепные;
жс, и — электромагнитные; *к, л* — предохранительные

Рисунок 1.10 — Муфты

провод присоединяется к неподвижной катушке. Муфта состоит из следующих частей: внутренней полумуфты 5, закрепленной на валу; наружной полумуфты (поводка) 2, связанной с колесом, свободно сидящим на валу; пакета чередующихся внутренних и наружных фрикционных дисков 3, соединенных с соответствующими полумуфтами; катушки 4, создающей магнитное поле; якоря 1, который при включении катушки притягивает и сжимает диски. Различают также муфты с магнитопроводящими дисками (рис. 1.10, *жс*) и вынесенными дисками (рис. 1.10, *и*), которые находятся за пределами магнитного потока (в последних диски сжимаются между регулировочной гайкой 6 и нажимным диском 7, соединенным с якорем 1).

Муфты обгона предназначены для передачи крутящего момента при вращении звеньев кинематической цепи в заданном направлении и для разъединения звеньев при вращении в обратном направлении, а также для сообщения валу двух различных движений (медленного — рабочего и быстрого — вспомогательного), которые осуществляются по двум отдельным кинематическим цепям. Муфта обгона позволяет включить цепь быстрого хода, не выключая цепи рабочего движения [18].

В качестве муфт обгона можно использовать храповые механизмы (рис. 1.11, *а*). Вал 2 вращается от вала 1 через конические колеса и храповой механизм (колесо 4 свободно посажено на валу 2). Если одновременно включить цепь быстрого хода через передачу Z_1 и Z_2 , то вал 2 вместе с храповым колесом 4 будет вращаться быстрее зубчатого колеса Z_4 и собачка 3 будет проскальзывать. Муфта обгона роликового типа (рис. 1.11, *б*) состоит из закрепленного на валу корпуса (звездочки) 1, наружного кольца или втулки 2, связанной или составляющей одно целое с зубчатым или червячным колесом, шкивом и т. п., и нескольких роликов 3, помещенных в вырезах корпуса 1. Каждый ролик отжимается одним—тремя, в зависимости от длины ролика, штифтами 4 с пружинами 5 в направлении к узкой части выемки между деталями 1 и 2. Если, например,



а — храпового типа;
б — роликового типа

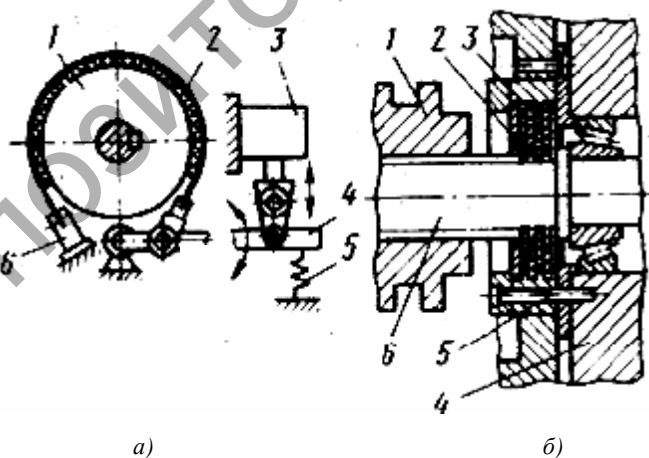
Рисунок 1.11 — Муфты обгона

ведущей частью является втулка 2, то при вращении ее в сторону, указанную на рисунке стрелкой, ролики увлекаются трением в узкую часть выемки и заклиниваются втулкой и корпусом муфты. В этом случае корпус 1 и связанный с ним вал будут вращаться с угловой скоростью втулки 2. Если при продолжающемся движении втулки 2 против часовой стрелки валу и корпусу 1 сообщить движение по другой кинематической цепи, направленное в ту же сторону, но имеющее скорость, большую по величине, чем скорость втулки 2, то ролики переместятся в широкую часть выемки и муфта окажется расцепленной. При этом детали 1 и 2 будут вращаться каждая со своей скоростью.

Ведущим элементом может быть любая из деталей 1 и 2. Если ведущим является корпус, то муфта сцепляется при его вращении по часовой стрелке или когда корпус, вращаясь в этом направлении, опережает втулку [18].

Тормоза служат для быстрой остановки выключенного привода и временного удержания в неподвижном состоянии отдельных частей станка [9].

На рисунке 1.12, а, изображен ленточный тормоз, который состоит из: 1 — диска; 2 — металлической ленты; 3 — электромагнита; 4 — рычага; 5 — пружины.



а — ленточный тормоз; б — многодисковый тормоз

Рисунок 1.12 — Тормоза

На рисунке 1.12, б, изображен многодисковый тормоз, который состоит из: 1 — втулки; 2 — дисков подвижных; 3 — дисков неподвижных; 4 — корпуса; 5 — кольца.

Реверсирующие устройства служат для изменения направления движения рабочих механизмов станка (суппорта, вращения шпинделя и т. п.) без изменения направления работы двигателя. На рисунке 1.13 изображены некоторые основные механизмы реверсирования, реверсирование которыми производится механическим способом.

Направление движения в механизмах станков можно изменять с помощью различных механических, электрических и гидравлических устройств. Наиболее часто применяют реверсивные механизмы с цилиндрическими и коническими колесами. На рисунках 1.13, а—в, показаны схемы реверсивных механизмов с передвигными зубчатыми колесами, а на рисунках 1.13, г—е, — с неподвжными колесами и муфтами. В механизме с коническими зубчатыми колесами (см. рис. 1.13, ж) реверсирование производится двусторонней кулачковой муфтой. Направления вращения на рисунке показаны стрелками.

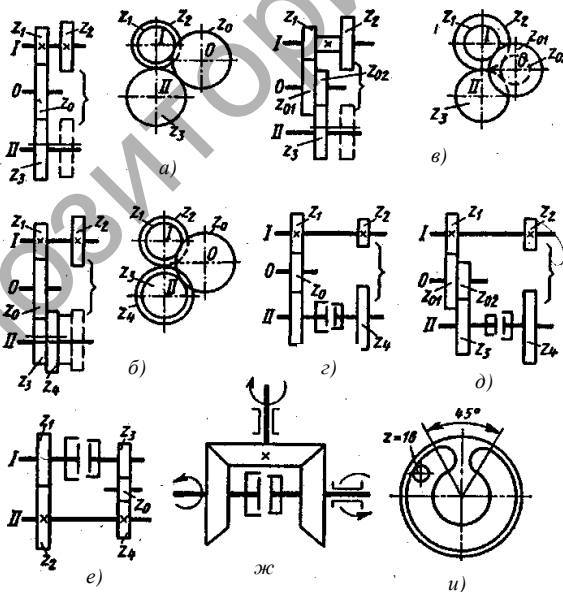


Рисунок 1.13 — Реверсирующие механизмы

В некоторых моделях зубообрабатывающих станков применяют реверсивные механизмы, показанные на рисунке 1.13, *и*. При неизменном направлении вращения зубчатого колеса *Z* составное колесо получает возвратно-вращательное движение.

Гидравлическое реверсирование осуществляется изменением направления потока масла в рабочий цилиндр, чаще всего с помощью направляющих гидрораспределителей, электрическое реверсирование — путем изменения направления вращения электродвигателя привода.

Блокировочные устройства (механические, электрические, гидравлические, комбинированные) предотвращают включение механизмов, ведущих к поломкам или другим вредным последствиям. В частности, недопустимо одновременное включение некоторых механизмов, например, параллельных передач между двумя смежными валами [18].

Существуют следующие механизмы обеспечения точности обработки:

- 1) отсчетные (ходовой винт, снабженный лимбом и нониусом);
- 2) обеспечения точности положения и движения рабочих органов (механизмы коррекции, зажима столов и траверс, точной фиксации и др.);
- 3) регулирования и компенсации, которые служат для начальной отладки станка и ликвидации вредных воздействий, вызванных деформацией и износом элементов станка. Примерами таких устройств могут служить регулирующие клинья направляющих, конструкции для регулирования зазора и натяга в шпиндельных подшипниках [10].

1.6 Приводы главного движения

1.6.1 Ряды частот вращения шпинделя [3]

Различают ступенчатые и бесступенчатое регулирование приводов главного движения. Бесступенчатое регулирование позволяет устанавливать в определенных пределах требуемые режимы резанья, но они не всегда обеспечивают передачу требуемой мощности и крутящего момента и во многих случаях имеют низкий КПД.

При ступенчатом регулировании не всегда можно установить требуемые оптимальные режимы резанья, но приводы со ступенчатым

регулируем проще по конструкции и по надежности, поэтому они получили широкое применение.

Предельные частоты вращения шпинделя для станков с вращательным движением определяются по формулам

$$n_{\min} = \frac{v_{\min}}{\pi d_{\max}}, \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{\max} = \frac{v_{\max}}{\pi d_{\min}}, \text{ мин}^{-1};$$

где v_{\min} и v_{\max} — минимальные и максимальные скорости резанья;
 d_{\min} и d_{\max} — минимальные и максимальные диаметры обработки.
Диапазон регулирования определяется по формуле

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}.$$

Основные зависимости геометрического ряда со знаменателем ϕ имеют следующие зависимости:

1) ряд чисел оборотов имеет вид

$$n_1 = n_{\min};$$

$$n_2 = n_1 \phi;$$

$$n_3 = n_1 \phi^2;$$

$$n_z = n_1 \phi^{z-1} \leq n_{\max},$$

где z — число ступеней;

2) диапазон регулирования

$$D = \frac{n_z}{n_1} = \frac{n_1 \phi^{z-1}}{n_1} = \phi^{z-1};$$

3) знаменатель геометрического ряда

$$\varphi = \sqrt[z]{D};$$

4) число ступеней частоты вращения (чисел оборотов)

$$Z = \frac{\lg D}{\lg \varphi} + 1.$$

Для геометрического ряда постоянен перепад скоростей:

$$A = \frac{n_{i+1} - n_i}{n_{i+1}} = \left(1 - \frac{1}{\varphi}\right) 100\% = \text{const}.$$

Нормалью станкостроения Н11-1 предусмотрены определенные значения φ и n .

Нормаль обладает следующими основными свойствами:

- 1) получения различных рядов из основного ряда со знаменателем φ_{\min} ;
- 2) удесятерения;
- 3) удвоения.

Частоты вращения шпинделей могут отклоняться от стандартных не более чем $\pm 10(\varphi - 1)\%$.

Нормалью станкостроения Н11-1 предусмотрены определенные значения знаменателя геометрического ряда φ , а именно: 1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78; 2,0.

Рабочий и холостой ход для станков с прямолинейным главным движением составляют двойной ход:

$$T = t_p + t_x = \frac{L}{v_p} + \frac{L}{v_x} = L \frac{v_p + v_x}{v_p v_x}.$$

Число двойных ходов определяется по формуле

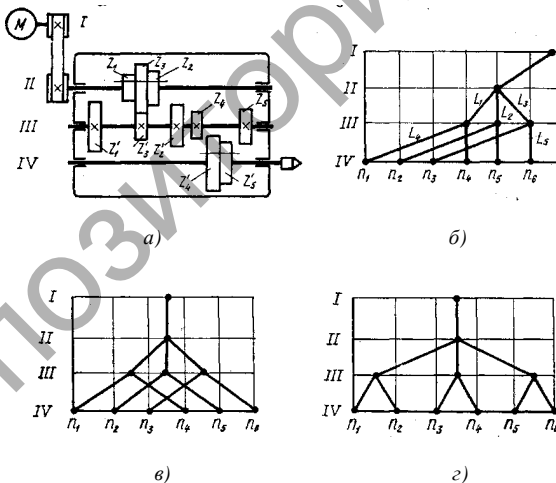
$$\frac{1}{T} = \frac{1}{L} \frac{v_p v_x}{v_p + v_x}.$$

1.6.2 Множительные структуры

Знаменатель геометрического ряда чисел оборотов шпинделя позволяет проектировать коробки скоростей с наиболее простой структурой, соединенные между собой в одну или несколько кинематических цепей. Такая структура называется множительной и число скоростей получается путем перемножения чисел скоростей двух элементарных валовых передач [3].

1.6.3 Конструирование приводов со ступенчатым регулированием скорости [3; 16]

Совокупность передач, связывающих вращение соседних валов, называется **группами передач**, она характеризуется количеством передач в группе P и величиной их передаточных отношений. В данной схеме есть две множительные группы: одна состоит из трех передач, а другая — из двух (рис. 1.14, *a*).



a — кинематическая схема шестискоростной коробки скоростей; *б* — график частот вращения; *в, г* — варианты структурных сеток

Рисунок 1.14 — Кинематическая схема, график частот вращения и структурные сетки шестискоростной коробки

Для рассматриваемого примера структурная формула имеет вид

$$z = 6 = 3 \cdot 2,$$

а в общем случае —

$$z = P_a, P_b, P_c, \dots, P_n,$$

где $P_a, P_b, P_c, \dots, P_n$ — число передач в группах.

Передаточные отношения элементарных двухваловых передач, входящих в шестискоростную коробку скоростей, изображенную на рисунке 1.14, а, определяются по следующим формулам:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_1'}; \quad i_2 = \frac{z_2}{z_2'}; \quad i_3 = \frac{z_3}{z_3'}; \quad i_4 = \frac{z_4}{z_4'}; \quad i_s = \frac{z_s}{z_s'}.$$

На графике частот вращения (рис. 1.14, б) изображено следующее:

1. Горизонтальные линии I, II, III, IV условно изображают валы, на которых точками отмечены частоты вращения.

2. Частоты вращения n даны в логарифмическом масштабе, поэтому расстояния между соседними значениями n для геометрического ряда одинаковы. Точки, лежащие правее, соответствуют более высоким частотам вращения.

3. Передачи и их передаточные отношения условно обозначены прямыми линиями (лучами), соединяющими точки соответствующих частот вращения соседних валов. Наклон линии характеризует величину передаточного отношения. Линия с наклоном вправо изображает ускорительную передачу ($i > 1$), а влево — замедляющую ($i < 1$). Вертикальное расположение соответствует $i = 1$, так как число оборотов ведущего и ведомого вала одинаково. Параллельные линии характеризуют одну и ту же передачу.

Характеристикой группы X называется количество интервалов между соседними линиями, изображающими передачи данной группы.

Общее количество структурных (конструктивных) и кинематических вариантов определяется по двум вариантам структурных сеток, изображенных на рисунках 1.14, в—г:

$$z = 2_{(3)} \cdot 3_{(1)}.$$

Требуемый ряд частот вращения n может быть получен по различным вариантам графиков частот вращения. Сначала определяется количество структурных вариантов путем построения структурных сеток и выбирается оптимальный, затем строятся графики частот вращения.

Число структурных (конструктивных) вариантов определяется числом перестановок элементарных двухваловых передач и рассчитывается по формуле

$$k_c = m! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot m.$$

Для шестискоростной коробки скоростей количество структурных вариантов равно

$$z = 3 \cdot 2 = 6; \quad m = 2; \quad k_c = 1 \cdot 2.$$

Для двенадцатискоростной коробки скоростей количество структурных вариантов равно

$$z = 3 \cdot 2 \cdot 2; \quad m = 3; \quad k_c = 1 \cdot 2 \cdot 3.$$

При $z = 3 \cdot 2 \cdot 2$ лучи I основной группы расходятся на φ ; II (первой переборной) группы — на φ в степени, равной числу передач (лучей первой группы) P_a ; III (второй переборной) — на $\varphi = P_a P_b$.

Структурная формула имеет следующий вид:

$$z = P_{(x1)} \cdot P_{(x2)} \cdot P_{(x3)} \cdot \dots \cdot P_{(xm)}.$$

В рассматриваемом случае ($z = 6 = 3(1) \cdot 2(3)$) возможен следующий вариант:

$$z = 6 = 3(2) \cdot 2(1).$$

Общее количество кинематических вариантов равно количеству перестановок из m групп: $K_{кин} = m!$

Общее количество конструктивных и кинематических вариантов определяется по формуле

$$K_{общ} = m! \frac{m!}{q} = 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot \frac{2}{1} = 4.$$

Оптимальный вариант структуры кинематической схемы — вариант, имеющий наименьшее количество элементов, меньшую массу, малые осевые размеры.

При оптимизации руководствуются следующими соображениями:

1) количество передач в группах должно быть наименьшим (2 или 3);
2) необходимо стремиться к наименьшему весу шестерен на одном валу: $z = 12 = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6) = 2(1) \cdot 2(2) \cdot 3(4)$, наилучший вариант: $z = 12 = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6)$;

3) выгодно, чтобы передаточные отношения уменьшались по мере приближения к шпинделю.

Для ограничения радиальных размеров зубчатых колес привода главного движения передаточные отношения должны быть в следующих пределах:

$$\frac{1}{4} \leq i \leq 2 \text{ — прямозубые колеса;}$$

$$\frac{1}{4} \leq i \leq 2,5 \text{ — косозубые колеса;}$$

$$\frac{1}{5} \leq i \leq 2,8 \text{ — приводы подач.}$$

Число зубьев зубчатых колес определяется по формулам

$$z_1 = \frac{i_1 \sum z_i}{i_1 + 1}; \quad z'_1 = \frac{\sum z_i}{i_1 + 1}.$$

Задается $\sum z_i$ и, зная i , определяем z_1 и z'_1 .

1.6.4 Расчет и конструирование приводов с бесступенчатым регулированием скорости на основе механических вариаторов и других способов [4]

Основные достоинства бесступенчатого регулирования скоростей заключаются в:

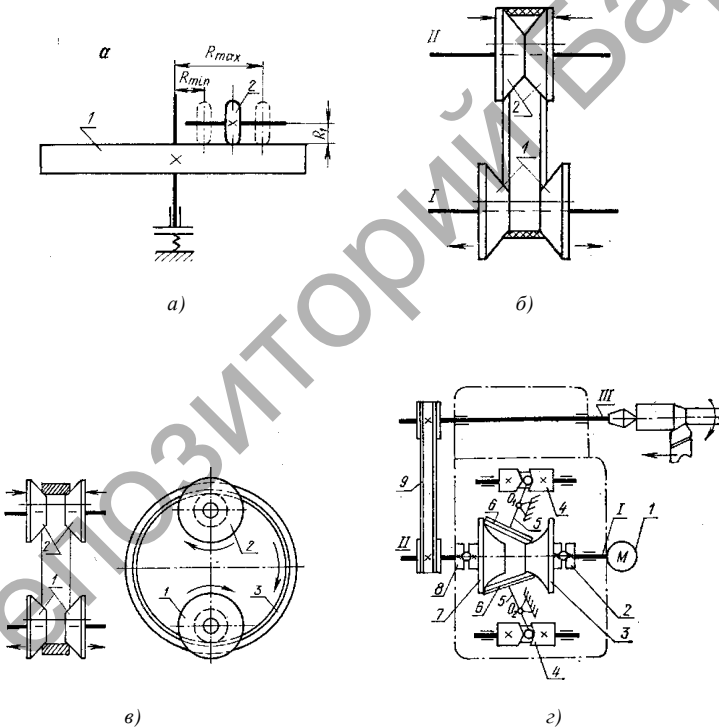
- а) применении оптимального режима резания;
- б) изменении режима резания во время работы станка, на ходу и под нагрузкой;

в) сохранении постоянной скорости путем автоматического регулирования частоты вращения, что способствует сокращению машинного времени и повышению долговечности режущего инструмента;
 г) упрощении и облегчении управления станком.

Различают следующие способы бесступенчатого регулирования:

- электрический;
- гидравлический;
- механический.

Схема механического способа бесступенчатого регулирования скорости представлена на рисунке 1.15.



а — лобовой; б — с раздвижными шкивами и клиновым ремнем;
 в — с раздвижными шкивами и стальным кольцом; г — торовой

Рисунок 1.15 — Механические вариаторы

Механические вариаторы бывают четырех видов:

1) лобовой — вариатор с непосредственным касанием ведущего и ведомого элементов (см. рис. 1.15, а):

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{R_1}{R_2 \varepsilon},$$

где n_1, n_2, R_1, R_2 — частота вращения и радиусы ведущего и ведомого элементов;

ε — коэффициент скольжения (0,95...0,995).

Лобовые вариаторы отличаются простотой, возможностью реверсирования, но низким КПД и малой износостойкостью;

2) с раздвижными шкивами и клиновым ремнем (см. рис. 1.15, б):

$$i = \frac{R_1}{R_2 \varepsilon'},$$

где R_1 и R_2 — радиусы контакта ведущего и ведомого шкива;

ε' — коэффициент скольжения.

Вариаторы с широким клиновым ремнем ($B = 70$ мм, $t = 20$ мм) допускают передаваемую мощность $N \leq 8$ кВт и имеют диапазон регулирования $D \leq 6$.

Вариаторы со стандартным ремнем допускают передаваемую мощность $N \leq 2,5$ кВт и имеют диапазон регулирования $D \leq 1,5$;

3) с раздвижными шкивами и стальным кольцом: $D \leq 10$; $N \leq 0,3...8$ кВт, шкивы и стальные кольца изготавливаются из стали ШХ15 с термообработкой HRC 62...65 (рис. 1.15, в);

4) торовый (рис. 1.15, г).

Изменяя положение роликов 6 по отношению к торовым поверхностям чашек 3 и 7 при помощи цилиндрических кулочков 4, можно получить плавное изменение частоты вращения между предельными значениями:

$$D \leq 8; N \leq 20 \text{ кВт.}$$

1.6.5 Расчет и конструирование приводов с бесступенчатым регулированием скорости на основе регулируемых электродвигателей [4; 13]

В приводах с бесступенчатым регулированием нужно стремиться, чтобы в приводах главного движения обеспечивалось постоянство мощности по всему диапазону R_n (хотя это и не всегда возможно) (рис. 1.16) [4].

В этом случае крутящий момент в приводе $M_{кр}$, определяющий размер всех элементов привода, будет наибольшим при $n = n_{min}$, что приводит к увеличению габаритных размеров и стоимости привода. Для бесступенчатого регулирования скорости в основном применяют двигатели постоянного тока с тиристорной системой управления. Эти двигатели все шире используют в станках с числовым управлением, большинство многооперационных станков оснащают такими двигателями. При дальнейшем уменьшении стоимости и габаритных размеров двигателей постоянного тока их применение будет расширяться.

В этих двигателях диапазон регулирования скорости с постоянной мощностью пока лежит в пределах $R_{\sigma} = (R_{д})_p = 2,5 \dots 6$ (иногда до $8 \dots 10$), что не перекрывает всего требуемого диапазона регулирования на шпинделе с постоянной мощностью R_p (см. рис. 1.16). Частоты вращения при постоянном моменте $(R_{д})_m$ регулируют в очень широком диапазоне. Перспективным является применение бесколлекторных электродвигателей постоянного тока, что повышает их надежность.

В приводе главного движения применяют и регулируемые за счет изменения частоты тока асинхронные электродвигатели, у которых

$$n = \frac{60f}{p} (1 - S),$$

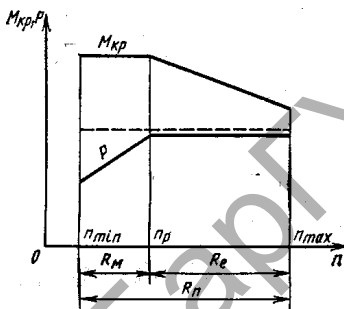


Рисунок 1.16 — Изменение мощности P и крутящего момента $M_{кр}$ при различных частотах двигателя

где f — частота тока;
 p — число пар полюсов;
 S — скольжение.

Эти двигатели обладают высокой надежностью, жесткой характеристикой.

Диапазон бесступенчатого регулирования R_6 механических вариаторов или диапазон $(R_D)_p$ регулируемых двигателей значительно меньше требуемого диапазона регулирования частот вращения шпинделя R_n или R_p при системах комбинированного регулирования, поэтому между устройством для бесступенчатого регулирования и шпинделем обычно вводят ступенчатую коробку. При этом должно выполняться следующее условие:

$$R_n = R_6 R_H,$$

где R_H — диапазон регулирования коробки скоростей, т. е. коробку скоростей можно рассматривать как переборную группу, расширяющую диапазон регулирования привода, поэтому

$$\varphi_k = R_{(k-1)} \varphi = R_6 \varphi.$$

С учетом того, что при бесступенчатом регулировании $\varphi \rightarrow 1$, необходимо, чтобы $\varphi_k = R_6$; следовательно, на основании формулы

$$R_k = R_6^{z_k - 1}$$

и окончательно $R_n = R_6^{z_k}$, что позволяет определить число ступеней коробки скоростей:

$$z_k \geq \frac{\lg R_n}{\lg R_6} \quad \text{или} \quad z_k \geq \frac{\lg R_p}{\lg (R_D)_p}.$$

Вследствие переменного скольжения в электродвигателях, механических вариаторах, ременных передачах фактический диапазон регулирования бесступенчатого устройства может оказаться меньше R_6 ,

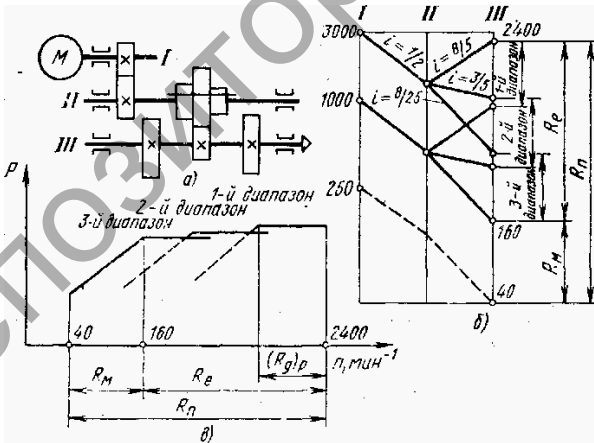
поэтому во избежание разрыва бесступенчатого ряда оборотов на шпинделе принимают обычно:

$$\varphi_k = (0,94 \dots 0,97) R_6.$$

Если коробка выполнена в виде одной группы передач, то для привода без перекрытия при $z_k = 2$ можно обеспечить диапазон регулирования $R_n = R_6^2$, если $R_6 \leq 8$; при $z_k = 3$, $R_n = R_6^3$, если $R_6 \leq \sqrt[3]{8} = 2,8$ (если $R_6 > 2,8$, то в приводе получается перекрытие скоростей и $R_n = 8R_6$).

При вычислении z_k по вышеуказанной формуле и округлении его значения в большую сторону перекрытие скоростей получается автоматически. В качестве примера на рисунке 1.17 изображена кинематическая схема, график частот вращения и диаграмма мощности с $z_k = 3$ при

$$R_n = \frac{2\,440}{60} = 40; \quad R_p = \frac{2\,440}{160} = 15; \quad R_6 = (R_d)_p = \frac{3\,000}{1\,000} = 3.$$



а — кинематическая схема; б — график частот вращения;
в — диаграмма мощности

Рисунок 1.17 — Привод главного движения станка с регулируемым двигателем

1.6.6 Особенности проектирования и расчета главного привода

Совершенствование двигателей постоянного и переменного тока с частотным регулированием и систем их регулирования позволяет иногда полностью отказаться от механических коробок скоростей.

Другой особенностью новых электроприводов главного движения является то, что ротор электродвигателя насаживается на шпиндель станка.

В универсальных станках находят применение системы ручного переключения, достоинство которых заключается в простоте и низкой стоимости.

Применяют селективные и преселективные системы переключения (требуемый набор взводится во время работы станка).

В автоматических станках передачу скоростей осуществляют с помощью электромагнитных фрикционных или зубчатых муфт. Электромагнитные фрикционные муфты позволяют переключать скорость в процессе работы станка, однако уменьшают КПД, так как электромагнитные муфты нежелательно встраивать в шпиндельные бабки станков с ЧПУ. В приводах с двигателем постоянного тока применяют зубчатые муфты, переключаемые автоматически с индивидуальных электромеханических и гидравлических приводов.

Конфигурация, размеры, выбор материала деталей в узле определяются условиями работы в нем. Для них должны обеспечиваться требования жесткости, долговечности.

Проектируя изделие или какую-то его часть, конструктор должен знать возможности производства и представлять технологический процесс сборки и обработки каждой детали изделия, среднюю стоимость каждой операции и то, что производство накладывает свои условия на конструкцию узлов и деталей.

1.7 Шпиндельные узлы

1.7.1 Разработка структурно-компоновочного решения шпиндельного узла [16]

К шпинделям предъявляется целый ряд дополнительных требований, так как они являются наиболее ответственными деталями в станке. Конструкцию шпинделя определяют следующие факторы:

а) требуемая жесткость шпинделя, расстояние между опорами, наличие отверстия для подачи материалов или других целей;

б) приводные детали (зубчатые колеса, шкивы) и их расположение на шпинделе;

в) тип подшипников, определяющий посадочные места под них;

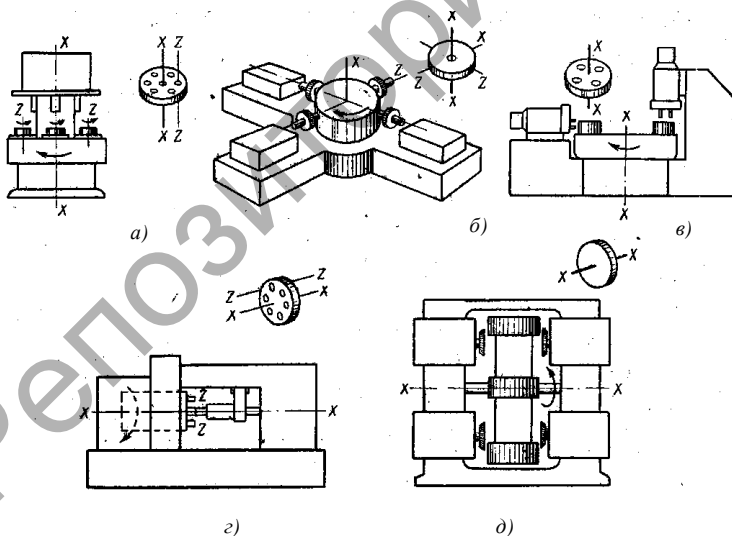
г) метод крепления патрона для детали или инструмента, определяющий конструкцию переднего конца шпинделя.

Технические условия на изготовление шпинделей регулируются международными стандартами.

Компоновка шпиндельных узлов в станке в большей степени зависит от компоновки всего станка.

В прецизионных станках (токарных, координатно-расточных и др.) стремятся выделить шпиндель станка в отдельный узел, отделив его от коробки скоростей.

Для сокращения площадей и удобства обслуживания в многопозиционных станках широко распространена вертикальная компоновка. Если деталь в период обработки вращается, то удобнее располагать оси вращения шпинделей Z параллельно оси стола (рис. 1.18, а).



X-X — ось вращения стола или барабана; Z-Z — ось вращения шпинделей

Рисунок 1.18 — Компоновки шпиндельных узлов многошпиндельных станков

К этой группе относятся многошпиндельные автоматы и полуавтоматы последовательного и параллельного действия для токарной обработки и сверлильно-расточных работ. Расположение оси вращения шпинделя перпендикулярно оси стола (рис. 1.18, б) — более редкий случай. Обработка неподвижных деталей характерна для агрегатных сверлильно-расточных станков с поворотным столом (рис. 1.18, в), где шпинделя компонуют в многошпиндельных головках. Горизонтальная ось стола, когда стол превращается в шпиндельный барабан, характерна для большой группы многошпиндельных токарных автоматов и полуавтоматов (рис. 1.18, з), а обработка неподвижных деталей на барабане с горизонтальной осью производится на барабанно-фрезерных станках (рис. 1.18, д) с непрерывным вращением барабана или на многопозиционных станках с компоновкой, подобной представленной на рисунке 1.18, з.

Компоновка шпиндельных узлов многошпиндельных станков имеет свою специфику. Здесь расположение узла шпинделя зависит от положения в пространстве оси станка $X-X$ (вертикальная ось или горизонтальная) и расположение по отношению к ней осей вращения шпинделей $Z-Z$ (см. рис. 18). Ось станка $X-X$ обычно совпадает с осью вращающегося стола или шпиндельного барабана.

1.7.2 Выбор и расчет опор шпинделя [4]

В шпиндельных узлах современных станков в основном применяют подшипники качения. Их несущая способность характеризуется динамической и статической грузоподъемностью.

Динамическая грузоподъемность — нагрузка, при которой подшипник выдерживает 1 млн оборотов.

Статическая грузоподъемность — нагрузка, при которой возникает остаточная деформация, равная 0,0001 диаметра тела качения.

Все указанные параметры по грузоподъемности и частоте вращения выбираются по справочным таблицам.

Выбор класса точности подшипника зависит от класса точности станка [1] и определяется по таблице 1.1.

Т а б л и ц а 1.1 — Класс точности подшипников, устанавливаемых в шпиндельные узлы станков при их точности по ГОСТ 520-71

Класс точности оборудования	Передняя опора	Задняя опора	Упорные подшипники
Н	4	5	5
П	4	5	5
В	2	4	4
А	2	2	2
С	2	2	2

На рисунке 1.19 изображены типовые компоновки шпиндельных узлов основных видов металлорежущих станков:

а) средних и тяжелых токарных и фрезерных станков, фрезерно-расточных и шлифовальных станков;

б) средних и тяжелых токарных и фрезерных станков, изготавливаемых крупными партиями;

в) небольших и средних токарных и фрезерных станков, изготавливаемых крупными партиями;

г) легких и средних токарных, фрезерных, фрезерно-расточных и шлифовальных станков;

д) легких токарных автоматов, отделочно-расточных, скоростных фрезерных станков и силовых головок агрегатных станков;

е) средних и тяжелых круглошлифовальных и плоскошлифовальных станков.

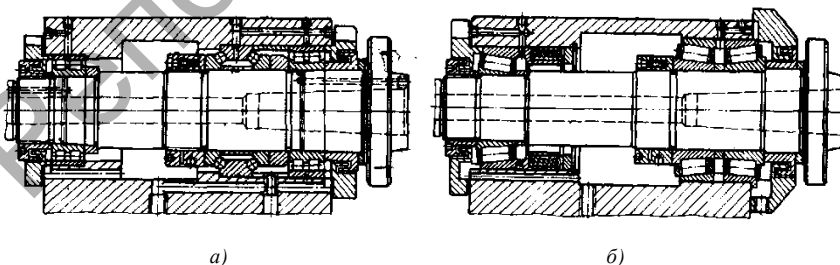


Рисунок 1.19 — Типовые компоновки шпиндельных узлов

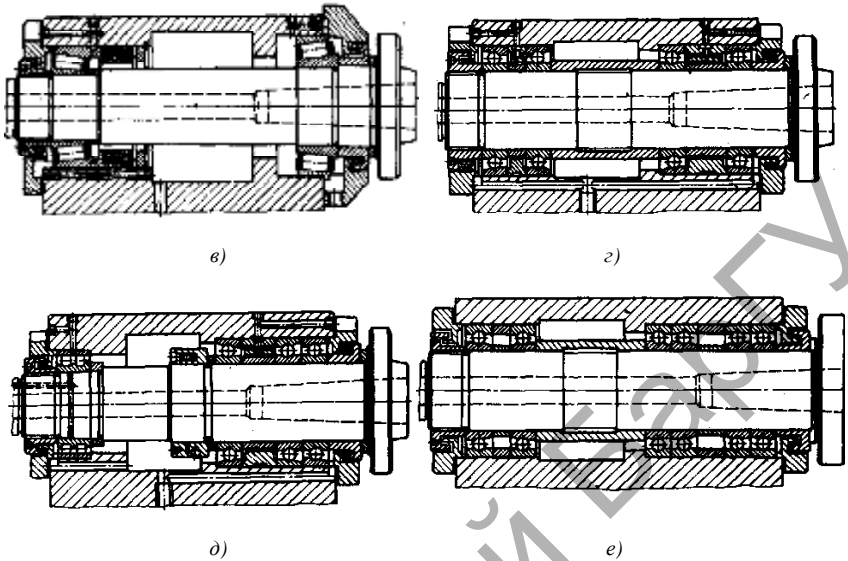
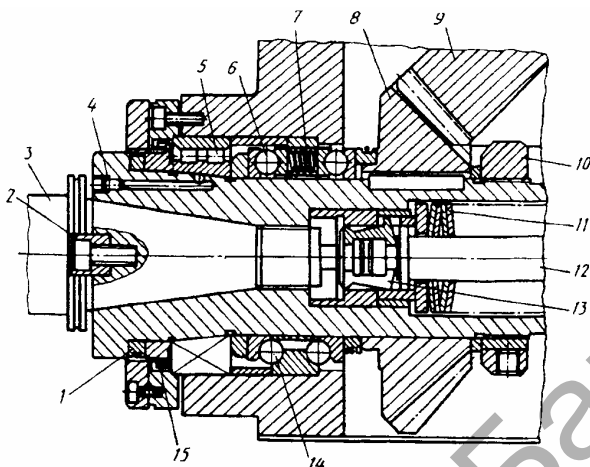


Рисунок 1.19 — Окончание

На рисунке 1.20 изображена передняя опора и конец шпинделя фрезерно-расточного станка с ЧПУ.

В коническом отверстии (см. рис. 1.20) зажимается инструментальная оправка 3, крутящий момент на которую передается двумя торцевыми шпонками 2. Механизм зажима оправки состоит из цанги 13, штани 12, пакета тарельчатых пружин 11 и гидроцилиндра (не показанного на рисунке). Оправка освобождается при движении штанги влево. Крутящий момент передается на шпиндель зубчатыми колесами 9 и 8. На рисунке 1.20 показаны два варианта опоры. Опора, выполненная по первому варианту (показана над осью шпинделя), состоит из двухрядного роликоподшипника 5 с короткими цилиндрическими роликами, воспринимающего радиальную нагрузку, и двух упорных шарикоподшипников 6, воспринимающих осевую нагрузку. Радиальный зазор в двухрядном роликоподшипнике регулируют с помощью гайки 10 после подшлифовки компенсаторного 1, состоящего из двух полуколец. Съем этого подшипника облегчается благодаря распрессовке внутреннего кольца маслом, заливаемым



- 1 — компенсаторное кольцо; 2 — торцовые шпонки;
 3 — инструментальная оправка; 4 — отверстие;
 5 — роликоподшипник двухрядный;
 6 — упорные шарикоподшипники; 7 — пружина;
 8, 9 — зубчатые колеса; 10 — гайка;
 11 — пакет тарельчатых пружин; 12 — штанга; 13 — цапга;
 14 — упорно-радиальный шарикоподшипник типа 178800;
 15 — лабиринтное уплотнение

Рисунок 1.20 — Передняя опора и передний конец шпинделя фрезерно-расточного станка с ЧПУ

в отверстие 4. Натяг упорных подшипников обеспечивается пружинами 7. В передней опоре, выполненной по второму варианту, вместо упорных применен упорно-радиальный шарикоподшипник 14. Для защиты от загрязнений и предотвращения вытекания из опоры смазочного материала использовано лабиринтное уплотнение 15 [4].

1.7.3 Конструирование и расчет шпиндельного узла на стадии эскизного проекта

Шпиндельный узел (ШУ) рассматривают как балку с сосредоточенной или распределенной по участкам массой, расположенную на двух или более упруго-вязких опорах. При принятии концепции

узла определяют тип, конструкцию и схему расположения опор, габариты, межопорное расстояние, а для опор качения также важен способ предварительного натяга.

1.7.4 Расчет шпиндельного узла на жесткость

На рисунке 1.21 изображена схема шпиндельного узла, в котором приводной элемент привода расположен между его опорами (токарные, фрезерные и многоцелевые станки с ЧПУ). Радиальное упругое перемещение шпинделя в расчетной точке складывается из следующих перемещений: δ_{1Q} тела шпинделя под действием силы Q на приводном элементе; δ_{2Q} , вызванного деформацией опор от силы Q ; δ_{1P} тела шпинделя под действием силы резания P ; δ_{2P} , вызванного деформацией опор от силы P .

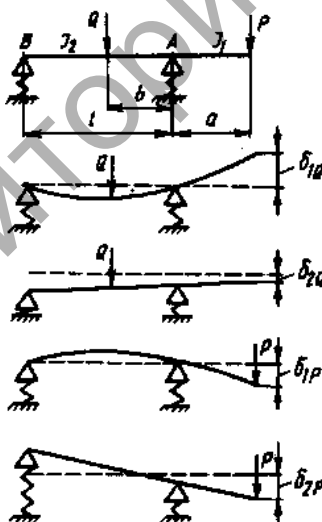


Рисунок 1.21 —
Составляющие перемещения
шпинделя в расчетном
сечении

Упругое перемещение переднего конца шпинделя без учета заземляющего момента равно

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = P \left[\frac{a^3}{3EI_1} + \frac{a^2l}{3EI_2} + \frac{J_A^a + J_B^{(l+a)^2}}{J_A J_B^l} \right] \pm Q \left[\frac{J_B^{l+a} - J_A^{l-b}}{J_A J_B^l} - \frac{a(b^3 + 2bl^2 - 3b^2l)}{3EI_2l} \right] \quad (1.1)$$

- где P — сила резания;
 a — вылет (консоль переднего конца шпинделя);
 E — модуль упругости материала шпинделя;
 l — расстояние между передней A и задней B опорами;
 J_A и J_B — радиальная жесткость передней и задней опор;
 Q — сила в приводном элементе.
 b — расстояние от приводного элемента до передней опоры;
 I_1 — среднее значение осевого момента инерции сечения консоли;
 I_2 — среднее значение осевого момента инерции сечения шпинделя в пролете между опорами.

Угол поворота (радиан) в передней опоре равен

$$\theta_A = \left[Pal - \frac{Q}{2l} (b^3 - 2bl^2 - 3b^2l) \right]. \quad (1.2)$$

В формулах (1.1) и (1.2) под P и Q понимается составляющие сил, приведенные в одной плоскости. Перед Q принимают знак «плюс», если P и Q направлены в одну сторону, и знак «минус», если они направлены в противоположные стороны. Введя в формулу безразмерное отношение $\lambda = \frac{l}{a}$, характеризующее относительную

длину межопорной части шпинделя, из равенства $\frac{d\delta}{d\lambda} = 0$ находят оптимальное значение λ , а следовательно, оптимальное по условиям жесткости расстояние между опорами шпинделя.

1.7.5 Обеспечение динамического качества шпиндельного узла [3]

Расчет на виброустойчивость сводится к определению собственной частоты шпинделя f_c с целью избежания резонансных явлений, которая определяется по формуле

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q \sum W_i Y_i}{\sum W_i Y_i^2}},$$

где q — ускорение свободного падения;

W_i — вес отдельных элементов колеблющейся системы;

Y_i — прогибы под действием веса элементов.

Для устранения опасности резонансных явлений необходимо, чтобы

$$f_c > (1,25 - 1,3) f_b,$$

где f_b — частота вынужденных колебаний, которая определяется по формуле

$$f_b = \frac{nD}{2(D+d)} z,$$

где n — частота вращения шпинделя;

D — диаметр беговой дорожки внутреннего кольца подшипника;

d и z — диаметр и число тел качения в подшипнике.

1.7.6 Разработка смазочной системы [4]

Жидкие смазочные масла хорошо отводят теплоту от шпиндельных опор, уносят из подшипников продукты изнашивания. При выборе вязкости масла учитывают частоту вращения шпинделя, температуру шпиндельного узла и ее влияние на вязкость масла.

В зависимости от способности отводить теплоту из опор смазочные системы бывают двух типов: системы обильного смазывания (с отводом теплоты), системы минимального смазывания (без отвода теплоты).

К системам обильного смазывания относятся циркуляционное смазывание, смазывание впрыскиванием, капельная система, фитильная система, смазывание масляным туманом, масловоздушное смазывание.

Циркуляционное смазывание автономной системой, предназначенной только для шпиндельного узла, или системой, общей для него и коробки скоростей.

Смазывание впрыскиванием осуществляется специальной системой через отверстия в кольце подшипника или через каналы в проставочном кольце и зазор между сепаратором и внутренним кольцом подшипника масло под давлением 0,4 МПа попадает на его рабочие поверхности.

Капельная и фитильная системы, смазывание масляным туманом обеспечивают во внутренней полости опоры необходимый минимальный объем смазочного материала, обеспечивающий только разделение рабочих поверхностей тончайшей пленкой.

1.7.7 Обоснование выбора материала шпинделя [4]

Выбор токарного шпинделя определяется условиями износостойкости посадочных мест, а при подшипниках скольжения — также условиями работы подшипниковых шеек шпинделя.

Для изготовления шпинделей применяют стали 45, 40Х, 20Х, реже — 12ХНЗ, 13ХНВА.

Ответственные участки шпинделей, изготовленных из сталей 45 и 40Х, подвергают термической обработке до HRC 24—30, при закалке ТВ4 стали — до HRC 45—58. Цементируемые стали подвергают цементации и последующей закалке до HRC 56—62.

Для шпинделей прецизионных станков применяют азотируемые стали 38ХМЮА, 38ХВФЮА с закалкой до твердости 63—68 HRCэ.

Требование к твердости ответственных поверхностей шпинделя и толщине упрочненного слоя зависит от типа опор, точности станка и функции отверстия в переднем конце шпинделя. Наиболее высокая износостойкость (а значит, и твердость) — у опорных шеек шпинделей и наружной поверхности выдвижных шпинделей. Высокой твердостью должны обладать поверхности для установки цанг, других зажимных устройств; поверхности отверстий с конусами Морзе и конусностью 7:24.

1.7.8 Обоснование технических требований и разработка методов технологического обеспечения качества шпиндельного узла [4]

Выбор подшипника качения осуществляется по критериям жесткости и частоты вращения шпинделя. В зависимости от параметра быстроходности устанавливается тип подшипника $d_m n_{\max}$. Погрешность передней опоры, вследствие ее большей нагруженности и влияния на точность обработки, определяет установку подшипников более точных, чем в задней опоре. При этом для увеличения жесткости передней опоры устанавливается сдвоенный подшипник. Для повышения жесткости в подшипниках создают предварительный натяг (жесткий или мягкий).

Также определяют оптимальные размеры шпинделя, которые влияют на его жесткость, температуру опор, точность.

Если подшипники качения сопрягаются с деталями относительно низкой точности, в процессе монтажа подшипников и регулирования зазоров и натягов профиль дорожки качения искажается, поэтому жесткость и точность шпиндельного узла снижается. Для исключения этого отклонения размеров и форм поверхности деталей, сопряженных с подшипниками качения, должны быть меньше отклонения контактирующих с ними поверхностей подшипников.

Глава 2 ПРИВОДЫ ПОДАЧИ

2.1 Разработка структурно-компоновочной схемы [4]

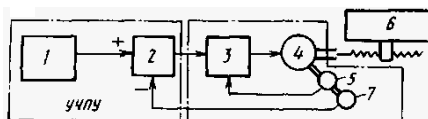
Приводы подач со ступенчатым регулированием, их область применения, а также предварительные исходные данные для их проектирования подробно рассмотрены в главе 1.4 настоящего курса лекций. Структуры приводов со ступенчатым регулированием изображены на рисунке 1.9.

Электрические приводы с бесступенчатым регулированием делятся на следящие и шаговые. На рисунке 2.1, а, представлен следящий привод с полузакнутой системой связи. Тяговый механизм подачи не охвачен обратной связью и его погрешность переносится на обрабатываемую деталь. Эти приводы предназначены для станков нормальной точности.

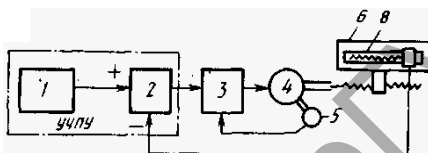
На рисунке 2.1, б, показан следящий привод с замкнутым контуром обратной связи. Линейный измерительный преобразователь устанавливается на ходовом винте. Такие приводы используются в прецизионных станках.

На рисунке 2.1, в, показан следящий привод с гибридной связью. Линейный измерительный преобразователь устанавливается как на столе, так и на ходовом винте или валу электродвигателя. Его применяют в основном для тяжелых станков.

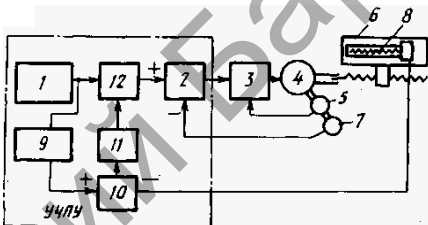
Шаговые двигатели просты по конструкции и применяются в основном в малых станках.



а)



б)



в)

- 1 — основной блок устройства; 2 — узел управления приводом; 3 — блок привода; 4 — двигатель подачи; 5 — тахогенератор; 6 — стол станка; 7 — круговой измерительный преобразователь обратной связи по пути; 8 — линейный измерительный преобразователь обратной связи по пути; 9 — задание перемещения; 10 — блок программного или аппаратного сравнения; 11 — задание дополнительного перемещения; 12 — блок суммирования

Рисунок 2.1 — Структуры следящих приводов подачи

2.2 Оптимизация привода подачи [4]

Для сохранения оптимальных свойств электропривода при соединении с механической частью необходимо соблюдать такие условия, чтобы:

$$\Omega_M \geq \Omega_{И} = \frac{\sqrt{1 - e^{-0,7\lambda}}}{2\xi_M (1 + \lambda)^{0,5}},$$

где Ω_M — порциальная собственная частота механической системы, которая рассчитывается по формуле

$$\Omega_M = \sqrt{\frac{C}{J_M}};$$

e — приведенная к валу двигателя жесткость упругого звена в расчетной одномассовой системе, являющейся моделью механической части привода подачи;

$\Omega_{И}$ — частота «излома» логарифмической амплитудно-частотной характеристики оптимального разомкнутого контура, которая рассчитывается по формуле

$$\Omega_{И} = \frac{1}{T},$$

где T — постоянная времени разомкнутого скоростного контура;

$$\lambda = \frac{J_M}{J_d},$$

где J_M — приведенный к валу момент инерции механической системы;

J_d — момент инерции якоря двигателя;

ξ_M — коэффициент демпфирования технической системы.

2.3 Оптимизация кинематической структуры привода подачи со ступенчатым регулированием [4]

Исходными данными для проектирования привода подачи со ступенчатым регулированием являются нижеследующие величины и характеристики привода:

- 1) минимальная подача (S_{\min});
- 2) максимальная подача (S_{\max});
- 3) число ступеней (z);
- 4) тип ряда подач (геометрический или арифметический);
- 5) тип станка;
- 6) структура привода подачи (общая или отдельная);
- 7) характер движения подачи (непрерывный или периодический);
- 8) вид тягового механизма;
- 9) уровень скорости подачи;
- 10) необходимая точность настройки.

Рассмотрим пример привода подачи отдельного, структурная схема которого изображена на рисунке 1.9, в.

Диапазон регулирования определяем по формуле

$$R_S = \frac{S_{\max}}{S_{\min}}$$

Далее определяем знаменатель геометрического ряда подач по формуле

$$\Phi = z-1 \sqrt[z]{\frac{S_{\max}}{S_{\min}}}$$

Значение R_S округляют до ближайшего значения, рекомендуемого для станков данного типа.

Значения ряда подач округляют до стандартных значений.

Шаг ходового винта p принимают ориентируясь на подобные станки и определяют ряд его частот (мин^{-1}):

$$S_1 = S_{\min}, \quad S_2, \dots, S_z = S_{\max},$$

$$n_1 = \frac{S_1}{p}; \quad n_2 = \frac{S_2}{p}; \quad n_z = \frac{S_z}{p}.$$

Дальнейший расчет привода подачи выполняют аналогично главному приводу. Изменение зубчатых передаточных отношений в коробке допускается в интервале от 0,2 до 2,8.

2.4 Расчет и конструирование деталей и механизмов приводов со ступенчатым и бесступенчатым регулированием на стадии эскизного и рабочего проектирования [14]

После определения прочности деталей коробок скоростей и подач, расчета зубчатых передач и других передач (ременных, цепных и т. п.), расчета валов и осей, шпоночных соединений, муфт, подшипников качения получают ряд данных.

На основании этих данных, полученных в результате предварительного расчета, для выявления точной конфигурации определенных деталей сборочных единиц производится эскизная компоновка коробок скоростей и подач (рис. 2.2).

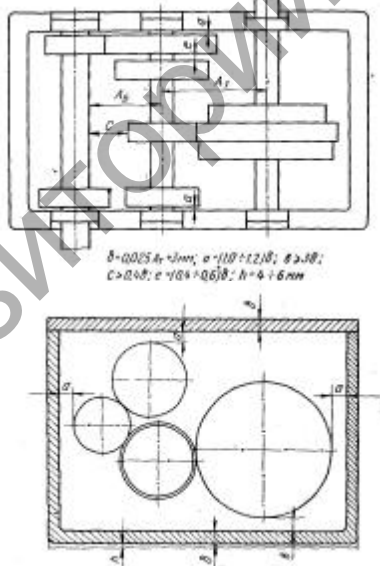


Рисунок 2.2 — Эскизная компоновка коробки скоростей, выполняемая на предварительном этапе проектирования

Эскизная компоновка выполняется в одной проекции, кроме червячных передач. Это проекция по плоскости разреза по осям валов и зубчатых колес. Для червячных передач существует две проекции:

а) разрез по оси червяка;

б) перпендикулярная первой проекции с разрезом по оси вала колеса.

На первом этапе эскизной компоновки коробок скоростей и подач приблизительно устанавливают расстояние между опорами и расположение элементов передач на валах для возможности определения опорных реакций, выполнения расчета валов на сложное сопротивление и подбор подшипников.

Чертеж на этом этапе выполняется упрощенно, в тонких линиях контуров деталей.

На втором этапе эскизного проектирования производится конструирование валов, т. е. точное установление их конфигурации, обеспечивающее легкую сборку, надежное крепление и нормальную работу насаживаемых на вал деталей, а также подшипников, определение окончательных мест расположения.

Затем производится рабочее проектирование с разработкой чертежей детализовки, т. е. по полученным размерам валов и их опор производится конструктивная разработка элементов колес, подшипниковых сборочных единиц и т. д. После этого разрабатываются рабочие чертежи деталей, входящих в сборочную единицу, т. е. выполняется детализовка.

2.5 Обеспечение беззазорности

Для обеспечения беззазорности применяют шариковые винтовые пары (ШВП) и устройства различных конструкций для выборки зазоров (например, тормозящих устройств). Применяют зубчатые передачи повышенной точности с увеличенной плавностью хода и т. д. [14]

Обеспечение беззазорности повышает кинематическую точность проектируемых и изготавливаемых приводов со ступенчатым и бесступенчатым регулированием, обеспечивает высокую чувствительность к микроперемещениям, а также значительно снижает шумы от работы механизмов.

2.6 Обеспечение статических и динамических характеристик приводов подач (для приводов подач с бесступенчатым регулированием) [4]

По коммутационной кривой $6M_{\max}(n)$ механической характеристики двигателя (рис. 2.3) определяют максимальный усредненный динамический момент двигателя (Н·м), необходимый для обеспечения его удовлетворительной коммутации при разгоне до скорости вращения $n_{6,x}$, соответствующей скорости быстрого хода $V_{6,x}$ стола или суппорта:

$$M_{\text{дин}} = \frac{1}{n_{6,x}} \left(\int_0^{n_{6,x}} (M_{\max})(n) dn \right).$$

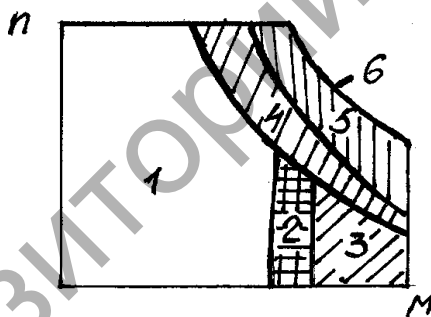


Рисунок 2.3 — Область допустимых нагрузок высокомоментного двигателя

Если двигатель работает в повторно-кратковременном режиме с существенно переменной нагрузкой, строят нагрузочную диаграмму двигателя, откладывая по оси абсцисс промежутки времени t_i его работы, а по оси ординат — значение момента M_i в соответствующих промежутках. По нагрузочной диаграмме находят усредненный момент, развиваемый двигателем и определяемый по формуле [4]

$$M_{\text{дв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i^2 t_i)}{\sum t_i}}.$$

При этом в качестве момента M_2 принимают $M_{\text{дв}}$.

Параметры двигателя должны удовлетворять следующим неравенствам:

$$n_{\text{max}} \geq n_{\text{б.х}}, \quad \bar{M}_{\text{дин}} \geq M_1, \quad M_{\text{н}} \geq M_2, \quad M_{\text{б.х}} \geq M_3,$$

где $M_{\text{б.х}}$ — момент на двигателе при частоте вращения $n_{\text{б.х}}$, определяемый по его механическим характеристикам.

Двигатель, параметры которого соответствуют неравенствам, удовлетворяет статическим и динамическим требованиям.

2.7 Обоснование технических требований и методов технологического обеспечения качества привода [3]

Технические требования к коробкам подач назначаются и обосновываются в зависимости от вида станка, конструкции коробки подач, способа регулирования:

- 1) время испытания (обкатки) узла согласно разработанному стандарту предприятия;
- 2) уровень звуковой мощности в дБл;
- 3) нагрузка, при которой должен производиться предварительный натяг, например, радиально-упорных подшипников и других технических требований (ТТ) согласно действующему стандарту предприятия.

Технология производства предъявляет ряд требований к конструктивному оформлению коробок подач.

Технологичность — степень обеспечения возможности изготовления качественных деталей коробок подач (скоростей) с наименьшей затратой материала, труда и времени при заданном объеме выпуска.

Для повышения технологичности деталей коробок подачи скоростей необходимо:

- 1) применять заготовки, близкие по форме и размерам к готовой детали;
- 2) сокращать количество и размеры обрабатываемых поверхностей;
- 3) обеспечивать обработку деталей коробки напроход и удобство входа и выхода инструмента;
- 4) осуществлять обработку стандартным инструментом;
- 5) унифицировать детали и их элементы;
- 6) упрощать формы поверхностей (для этого сложные детали следует расчленять на простые с последующим соединением);
- 7) совмещать конструкторские и технологические базы;
- 8) создавать условия для безударного съема металла;
- 9) рационально назначать допуски и требуемое качество поверхности.

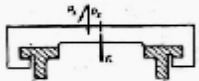
К литым деталям дополнительно предъявляют следующие требования:

- 1) возможность машинного изготовления по моделям с плоским разъемом;
- 2) простота формы;
- 3) толщина ответственных стенок должна быть наименьшей, исходя из литейных соображений;
- 4) сопряжение между стенками должны быть плавными;
- 5) литейные уклоны следует выполнять по ГОСТ 3212-57.

2.8 Тяговые устройства приводов [12]

Тяговые устройства предназначены для перемещения подвижных узлов станка вдоль направляющих (последнее звено в кинематической цепи привода подачи), вспомогательных перемещений и привода главного движения (строгальные, долбежные и протяжные станки) (табл. 2.1).

Т а б л и ц а 2.1 — Величина тяговой силы

Схема направляющих	Тяговая сила
<i>Направляющие скольжения</i>	
	$Q = P_x + f(P_z + P_y + G)$

Окончание табл. 2.1

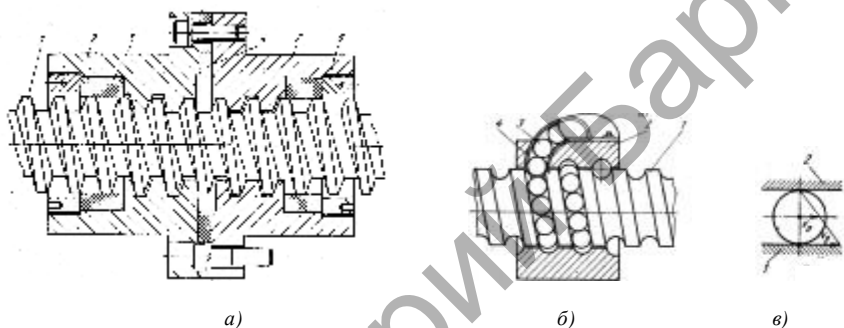
Схема направляющих	Тяговая сила
	$Q = P_x + \frac{f}{\cos \alpha} (P_z + G) - \frac{f(1 - \cos \alpha)}{\cos \alpha} (P_z \frac{y_p}{y_c} + G \frac{y_p}{z_p} - P_y \frac{z_p}{y_c})$
	$Q = P_x + \frac{f}{\cos \alpha} (P_z + G)$
<i>Направляющие качения</i>	
	$Q = P_x + 3T_0 + 1,5 \frac{f_x}{r} (P_z + G)$
	$Q = P_x + 2T_0 + 1,5 \frac{f_x}{r} (P_z + G)$
	$Q = P_x + 4T_0 + 2,8 \frac{f_x}{r} P_H$
	$Q = P_x + 2T_0 + 2,8 \frac{f_x}{r} P_H$
<p><i>Примечание:</i> P_x, P_y, P_z — составляющие силы резания; G — масса подвижного узла; f, f_k — коэффициент трения скольжения, качения; P_H — сила предварительного натяга; T_0 — начальная сила трения.</p>	

2.9 Расчет и конструирование механизмов прямолинейного и кругового перемещения с трением скольжения и трением качения [13]

На рисунке 2.4, а, изображена винт-гайка скольжения, применяемая в основном в универсальных станках.

Передача винт-гайка качения, изображенная на рисунке 2.4, б, может быть применена как в приводах подач без отсчета перемещений

(универсальные станки, силовые столы агрегатных станков), а также в приводах подач и позиционирования станков с ЧПУ. Она состоит из винта 1, гайки 2, комплекта шариков 3, расположенных в винтовых канавках винта и гайки, канала 4 для возврата шариков. Как и в шарикоподшипниках, шарики имеют линейную скорость в 2 раза меньшую, чем винт (рис. 2.4, в). Канал возврата, соединяющий первый и последний витки гайки, обеспечивает возможность непрерывной циркуляции тел вращения [13].



а — скольжения: 1 — винт; 2, 5 — гайки; 3 — центрирующие втулки; 4 — прокладка;
б — качения: 1 — винт; 2 — гайка; 3 — шарики; 4 — канал возврата; *в* — кинематическое соотношение скоростей: V_E — скорость винта; V_O — скорость шариков

Рисунок 2.4 — Передача винт-гайка

Передачу винт-гайка скольжения рассчитывают на износостойкость. Расчет сводится к вычислению среднего давления на рабочих поверхностях резьбы:

$$P = \frac{Q}{\pi dHLz/P},$$

где Q — тяговая сила;

d — средний диаметр резьбы;

H — рабочая высота профиля резьбы;

L — длина гайки;

z — число заходов резьбы;

P — шаг винтовой линии резьбы.

Для повышения точности применяется резьба с профилем трапеции $10...20^\circ$ вместо 30° , также центрирующих втулок 3. Зазоры устраняются при помощи подгонки прокладки 4 (см. рис. 2,4, а).

Материалом ходового винта является азотированная сталь (40ХА, 18ХГТ) на $h = 0,5$ мм, которая обеспечивает высокую износостойкость и стабильность размеров ($HRC = 53 - 58$).

Гайка изготавливается из оловянистой бронзы (Бр ОФ 10—0,5 или Бр ОЦ С 6-6-3).

Передача винт-гайка качения является основным видом устройства для станков с ЧПУ и без него (фрезерных, расточных, шлифовальных, зубообрабатывающих и др.) по причине высокой жесткости и беззазорности, которые снижают износ и поломку инструмента, повышают чистоту и точность обработки.

Широкое распространение получили следующие профили резьбы и гайки: полукруглый (рис. 2.5, а), арочный с двухточечным контактом (рис. 2.5, б), арочный с четырехточечным контактом (рис. 2.5, в).

Основными преимуществами винт-гайки качения являются:

- 1) возможность передачи больших усилий;
- 2) высокий КПД (0,9—0,95) по сравнению со скольжением (0,2—0,4);
- 3) малый $M_{кр}$ на ходовом винте вследствие высокого КПД;
- 4) почти полная беззазорность;
- 5) малая изнашиваемость (длительное сохранение точности);
- 6) высокая чувствительность к перемещениям;
- 7) высокая точность за счет создания предварительного натяга.

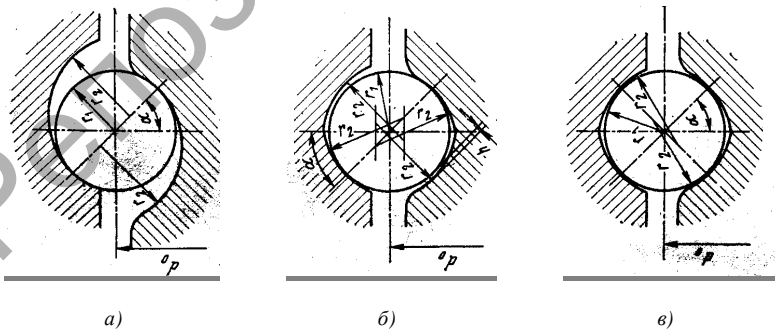


Рисунок 2.5 — Профили резьбы винта и гайки шариковых винтовых пар

Получили распространение следующие профили резьбы винта и гайки: полукруглый (рис. 2.5, а), арочный с двухточечным контактом (рис. 2.5, б), арочный с четырехточечным контактом (рис. 2.5, в).

2.10 Расчет конструкции «винт-гайка качения» [13]

Расчет передачи винт-гайки качения в приводе подачи станка начинают с определения сил резания и их составляющих. Для привода подач токарного станка по оси Z (оси шпинделя) определяют следующие силы: силу при черновом точении, силу при наиболее часто встречающихся условиях (получистовое и чистовое точение), силу при ускоренном отводе суппорта. Затем производят следующие расчеты:

1. Расчет винта на устойчивость осуществляется по следующей формуле (определение диаметра винта):

$$d_0 = \sqrt[4]{\frac{64F(\mu l)^2}{\pi^3 E}},$$

где F — максимальная продольная сжимающая сила;

μ — коэффициент, учитывающий характер заделки конца винта;

l — расстояние между гайкой и опорой винта;

E — модуль упругости первого рода.

2. Расчет может осуществляться по критической частоте вращения, что выражается в появлении вибрации при некоторой критической частоте вращения

$$d_0 = 10^{-7} \mu l^2 n_g ;$$

$$n_g = \frac{10^3 k v_{x.x.}}{p},$$

где k — коэффициент несовпадения частоты вращения винта с частотой его собственных колебаний ($k = 1, 2, \dots, 1, 25$);

$v_{x.x.}$ — скорость вспомогательного быстрого перемещения, м / мин;

p — шаг винта, мм.

3. Расчет на статическую прочность — предельно-допустимая нагрузка на один шарик равна:

$$[P]_{CT} = 20d_1^2,$$

где d_1 — диаметр шарика, мм.

При отсутствии предварительного натяга допустимая нагрузка на винт составляет:

$$[Q]_{CT} = 10z d_1^2,$$

где z — номинальное число шариков в гайке;

d_1 — диаметр шарика, мм.

4. Расчет на долговечность.

Коэффициент долговечности приведения нагрузки к базовому к базовому числу циклов нагружения определяется по формуле

$$K = K_Q \sqrt[3]{\frac{60TC_i n}{10^7}},$$

где K_Q — коэффициент переменности нагрузки, который определяется по формуле

$$K_Q = 0,6 + 0,4 \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}},$$

где Q_{\min} и Q_{\max} — максимальная и минимальная нагрузка на винт;

T — расчетный срок службы передачи в часах ($T = 5\,000$ ч);

C_i — число циклов нагружения за один оборот винта, рассчитываемое по формуле

$$C_i = 0,5z_i \left(1 + \frac{d_1}{d_0} \cos \alpha \right),$$

где d_1 — диаметр шарика, мм;

d_0 — диаметр винта, мм;
 z_i — число рабочих шариков в каждом витке;
 n — расчетная частота вращения винта, которая рассчитывается по формуле

$$n = \frac{n_{\max} + n_{\min}}{2}.$$

Если $K \leq 1$, то при допустимой статической нагрузке выносливость поверхности обеспечивается. При $K > 1$ допустимые нагрузки по условиям выносливости равны

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{ст}}}{K}, [P] = \frac{[P]_{\text{ст}}}{K}.$$

Предварительный натяг существенно увеличивает жесткость передачи, но снижает ее долговечность.

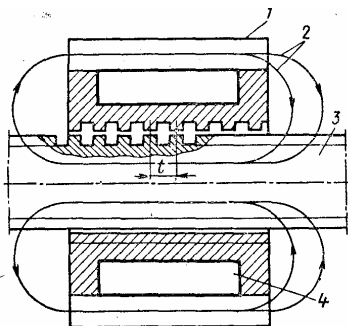
2.11 Применение гидравлических и электромагнитных механизмов [12]

Действие электромагнитных механизмов в качестве тяговых устройств основано на создании магнитного поля, под действием которого подвижный узел перемещается вдоль направляющих.

Достоинством электромагнитных тяговых устройств является неограниченная долговечность ввиду отсутствия трения износа, возможность автоматизации управления и выключения тягового устройства, которое может быть использовано параллельно с другими типами тяговых устройств.

К недостаткам электромагнитных тяговых устройств следует отнести ограниченную (малую) величину тяговой силы и невысокую жесткость.

Ввиду того, что линейные электродвигатели затруднительно использовать для точных линейных перемещений, то для этой цели в отдельных случаях могут оказаться электромагнитные передачи в виде пары винт-гайка (рис. 2.6)



1 — корпус гайки; 2 — магнитные силовые линии; 3 — винт; 4 — катушка

Рисунок 2.6 — Схема электромагнитной передачи винт-гайка

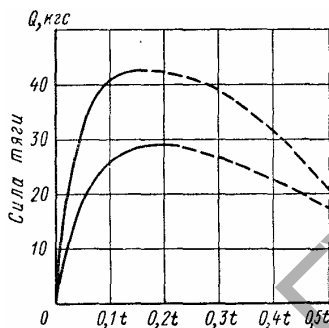


Рисунок 2.7 — Жесткостная характеристика электромагнитной передачи винт-гайка

На рисунке 2.7 приведены экспериментальные кривые, характеризующие нагрузочную способность и жесткость электромагнитной винтовой пары [12].

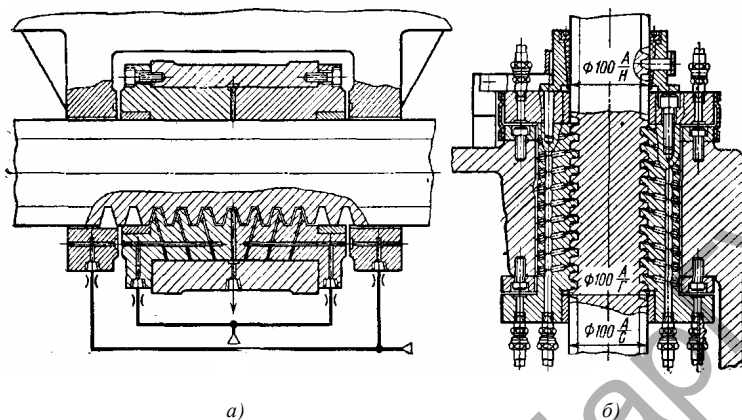
2.12 Гидростатические передачи винт-гайка [12]

Создание жидкостного трения на боковых поверхностях резьбы в передачах винт-гайка полностью устраняет износ, резко снижает потери на трение и устраняет зазоры.

К недостаткам гидростатических передач винт-гайка следует отнести сложность системы смазки, ограниченную несущую способность и высокие требования к изготовлению и сборке передач.

Конструкции гидростатических передач винт-гайка должны обеспечивать правильное расположение гайки относительно винта.

С этой целью иногда применяют самоустанавливающиеся гайки, центрируемые по винту принудительной посадкой (рис. 2.8, а) или силовым уравниванием (рис. 2.8, б). Для уменьшения расхода смазки на концах гайки могут быть предусмотрены уплотняющие устройства [12].



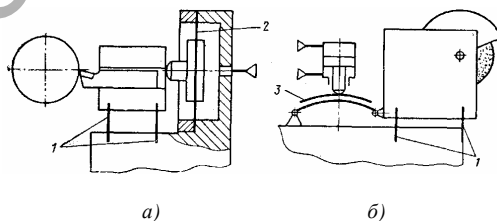
a — самоуставляющиеся гайки, центрируемые по винту принудительной посадкой; *б* — центрирование гайки силовым уравновешиванием

Рисунок 2.8 — Конструкции гидростатических передач винт-гайка

2.13 Конструкции устройств для микроперемещений [12]

При использовании систем автоматического регулирования, адаптивного управления и автоматической компенсации погрешностей необходимо совершать малые перемещения (рис. 2.9).

Упругосиловой привод используют для перемещения подвижного узла с помощью деформации упругого звена, которая создается



1 — плоские пружины; 2 — мембрана; 3 — рессора

Рисунок 2.9 — Упругосиловые приводы микроперемещений

силовым воздействием. При достаточно большой жесткости упругое звено имеет ограниченную общую деформацию, поэтому диапазон перемещения подвижного узла также небольшой.

Передаточное отношение механизма, изображенного на рисунке 2.10, *a*, в котором применен упругий шарнир, определяется по формуле

$$i = \frac{Rc}{ad},$$

где *R*, *c*, *a*, *d* — геометрические параметры.

В приводе, показанном на рисунке 2.10, *б*, применен пружинный параллелограмм, позволяющий свести к минимуму внешнее трение и обеспечить высокую чувствительность привода подачи.

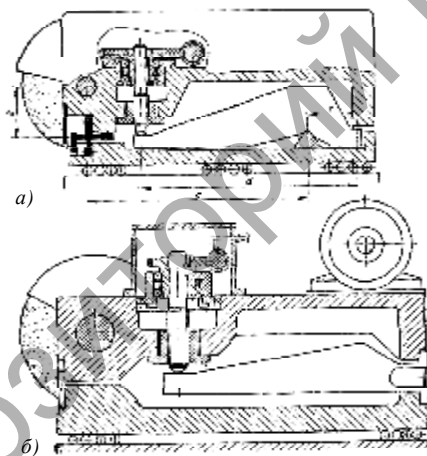


Рисунок 2.10 — Упругосиловые механизмы микроперемещений в приводе шлифовальной бабки прецизионного круглошлифовального станка

Конструкции механизмов микроперемещений, изображенные на рисунках 2.10, *a*, и 2.101, *б*, позволяют получить перемещение на 0,1 мкм при поле рассеяния в пределах 10% [12].

Глава 3 БАЗОВЫЕ ДЕТАЛИ СТАНКОВ

3.1 Выбор конструктивной формы станин, стоек, колонн, оснований, плит. Особенности конструирования базовых деталей. Обеспечение жесткости, температуростойкости

Базовая деталь — основная деталь, с которой начинается сборка машин и механизмов.

Совокупность базовых деталей между инструментом и заготовкой называют **несущей системой станка** (станины основания, колонны, стойки, поперечины, ползуны, траверсы, столы, каретки, суппорты, планшайбы, корпуса шпиндельных бабок и т. д.) [15].

Толщину стенки литых базовых деталей выбирают исходя из технологических требований и по соображениям необходимой жесткости. Она определяется по формуле

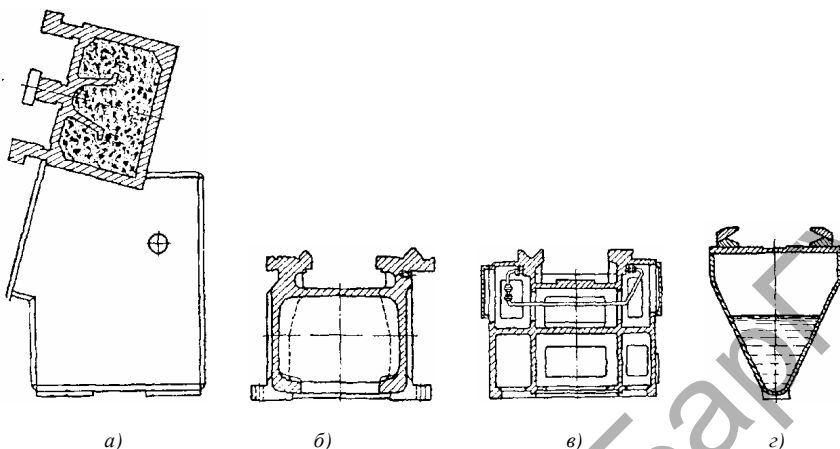
$$\delta = 10 \sqrt{\frac{2L + B + H}{3}},$$

где L , B , H — габаритные размеры деталей, причем L — наибольший из них [12].

Конструктивные формы базовых деталей основаны на принципах наилучшего использования материала. Наиболее целесообразными являются пустотелые конструкции замкнутого профиля для наиболее распространенного совместного нагружения изгибающими и крутящими моментами. Предпочтение отдается исходному прямоугольному профилю, обеспечивающему высокую изгибную и крутящую жесткость при минимальных затратах материала. Замкнутый профиль может осуществляться только в том случае, если после литья стержень остается внутри заготовки базовой детали для обеспечения высокой жесткости.

На рисунке 3.1 изображены варианты сечений станков различных видов.

Температурные деформации базовых деталей оказывают существенное влияние на точность обработки, особенно в прецизионных



a — токарного с программным управлением; *б* — токарно-винторезного;
в — внутришлифовального; *г* — плоскошлифовального

Рисунок 3.1 — Варианты сечений станин станков

станках и также в станках с ЧПУ при финишных обработках. Например, из-за смещения узлов плоскошлифовального станка от температурных деформаций нарушение заданного углового положения плоскости стола от торца шлифовального круга доходит до $0,1 \dots 0,15$ мм / м.

Для предотвращения отрицательных воздействий температурных деформаций при обработке на станках с ЧПУ их температурные погрешности уменьшают, вводя коррекции в привод подачи от сигналов датчиков температур [12].

3.2 Разработка расчетной схемы несущей системы станка и расчет на жесткость [16]

Расчет станка на жесткость складывается из следующих этапов:

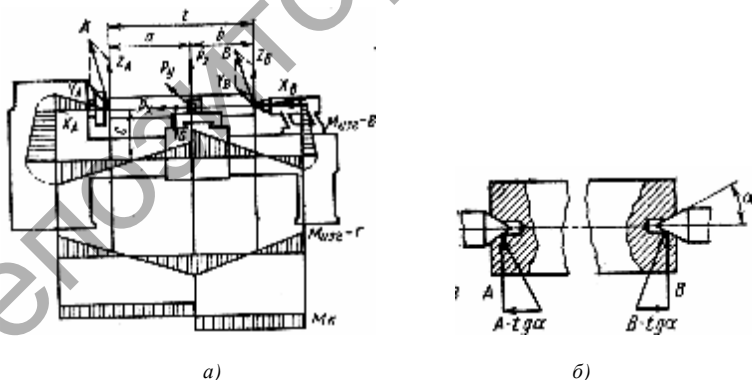
- 1) выбора расчетной схемы станины и определения сил, действующих на нее;
- 2) расчета деформаций станины под действием этих сил, сравнения полученных деформаций с допустимыми и уточнения конструктивных параметров станины для повышения ее жесткости.

Расчетная схема станины выбирается обычно, как балки или рамы. Для простых станков — это двухопорные балки с расчетной длиной, равной расстоянию между ножками станины или между опорными точками, на которые устанавливается станок с горизонтальной станиной. Вертикальные станины (стойки) заменяются консольными балками или открытыми рамами с расчетной длиной деформируемой части. Для порталных станин расчетной схемой будет жесткая статически неопределимая рама. Силы, действующие на станину, определяются силами резания, весом узлов и обрабатываемых заготовок.

3.3 Расчетная схема несущей системы токарного станка и определение сил, действующих на базовые детали токарного станка [16]

Для расчета станины токарного станка составляем расчетную схему с действующими нагрузками (рис. 3.2).

Силы, действующие на станину, определяются силами резания, весом узлов и обрабатываемых заготовок, инерционными нагрузками.



а — схема сил, действующих на корпусные детали токарного станка;
б — схема сил, действующих на центр токарного станка

Рисунок 3.2 — Схема сил, действующих на детали токарного станка

Рассмотрим в качестве примера расчет сил, действующих на корпусные детали токарного станка (см. рис. 3.2). Силы резания действуют на переднюю и заднюю бабки и на суппорт. При обтачивании в центрах силы, действующие на передний и задний центры, будут изменяться в процессе резания.

3.4 Расчет конечно-элементной модели несущей системы станка [16]

Подсчитаем реакции A и B (см. рис. 3.2), возникающие в плоскости, перпендикулярной к оси детали. Если G — вес детали, а d — ее диаметр, то на передней опоре составляющие реакции и сама реакция A определяется по формулам

$$Z_A = P_Z \frac{b}{l} - \frac{G}{2};$$

$$Y_A = P_Y \frac{b}{l} + P_X \frac{d}{2l};$$

$$A = \sqrt{Z_A^2 + Y_A^2}. \quad (3.1)$$

На задней опоре составляющие реакции и сама реакция B определяются по формулам

$$Z_B = P_Z \frac{d}{l} - \frac{G}{2};$$

$$Y_B = P_Y \frac{a}{l} - P_X \frac{d}{2l};$$

$$B = \sqrt{Z_B^2 + Y_B^2}; \quad (3.2)$$

$$X_A = P_X + A \tan \alpha + C_0,$$

где X_A — осевая сила, действующая на переднюю бабку;

C_0 — сила предварительной затяжки ($\approx 0,25P_X$);

$$X_B = B \tan \alpha + C_0,$$

где X_B — осевая сила, действующая на заднюю бабку.

Сила резания, действующая на суппорт, передается на станину и создает относительно ее оси изгибающие и крутящие моменты

$$M = PC,$$

где M — внешний изгибающий момент в вертикальной плоскости станины;

C — расстояние от оси центров станка до оси станины.

Максимальный скручивающий момент определяется по формуле:

$$M_x = P_y C.$$

3.5 Расчет на жесткость [16]

Расчетный момент инерции, оценивающий жесткость, определяется по формуле

$$I = k_{\text{изг}} I_z,$$

где $k_{\text{изг}}$ — экспериментальный коэффициент, оценивающий жесткость ребер при работе на изгиб;

I_z — момент инерции относительно оси Z .

Для прямоугольных ребер $k_{\text{изг}} = 0,1 \dots 0,2$ (рис. 3.3, а), для П-образных $k_{\text{изг}} = 0,3 \dots 0,45$ (рис. 3.3, б), для диагональных $k_{\text{изг}} = 0,4 \dots 0,5$ (рис. 3.3, в).

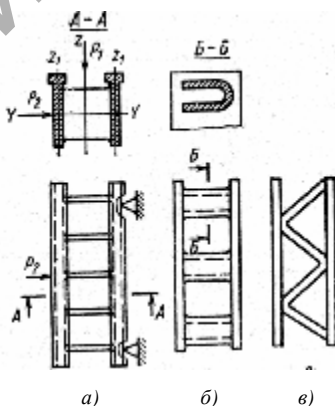


Рисунок 3.3 — Формы ребер станин

Расчет на кручение замкнутых профилей, изображенных на рисунке 3.4, *a*, производится по формуле для тонкостенных профилей:

$$\varphi = \frac{M_k l_p}{40GF^2} \sum \frac{l_i}{\delta_i},$$

где φ — угол закручивания;

M_k — крутящий момент, Н·м;

l_p — расчетная длина станины, м;

G — модуль упругости второго рода, Н / м²;

F — площадь, ограниченная средней линией стенок, м²;

l_i — длина участка контура;

δ_i — толщина участка контура.



Рисунок 3.4 — Схемы для расчета станины на кручение

Расчеты и анализы жесткости станин позволяют сделать выводы о выборе рациональных конструктивных параметров станины. Для токарных станков существенное влияние на жесткость оказывает ширина B станины, которую следует выбирать примерно равной высоте H . Для коротких станин влияние конструкции ребер невелико, а для длинных лучшие показатели дают диагональные ребра. Жесткость станин с замкнутым профилем всегда выше, чем при любом типе ребер (рис. 3.4).

3.6 Выбор материалов

По условиям стабильности, жесткости и виброустойчивости для базовых деталей станков наибольшее распространение получили чугун, сталь и бетон [12].

В большинстве случаев используется СЧ 15-32. При повышенных требованиях к износостойкости — СЧ 21-40. Реже модифицированные чугуны СЧ 32-52, СЧ 35-56.

Чугуны последних марок не следует рекомендовать для деталей крупногабаритных и сложной формы ввиду их плохих литейных качеств [12].

Сталь используют для базовых деталей при изготовлении этих деталей методом сварки. При той же жесткости экономия материала составляет до 30...50% по сравнению с применением отливок из чугуна [12].

Бетон для железобетонных конструкций базовых деталей находит весьма ограниченное применение в тяжелых станках и значительно реже в станках средних размеров. Применение железобетонных конструкций снижает металлоемкость на 50...60%, но применяемый металл повторно не используют [12].

3.7 Разработка формы базовых деталей на основе художественного конструирования

Основные задачи:

1. Гармонизация формы.

Композиция базовой детали или станка в целом — это построение конструируемого объекта, расположение и взаимосвязь его частей, обусловленные его назначением. Одним из условий возникновения художественных качеств формы является пространственное единство всех ее элементов, создающих целостное восприятие формы.

2. Гармонизация формы путем пропорционирования.

Пропорцией называют равенство двух отношений. При разработке конструкции изделий художнику-конструктору приходится решать задачи, связанные с формообразованием. Среди них большое значение имеет выбор выразительных пропорций, позволяющих эстетизировать создаваемое изделие.

3. Цвет и функциональная окраска.

Цвет во многом определяет красоту машин, приборов, промышленных и жилых интерьеров. Кроме того, правильное использование цвета при окраске оборудования уменьшает утомляемость рабочего, повышает производительность труда.

Глава 4 НАПРАВЛЯЮЩИЕ

4.1 Выбор конструкции направляющих станка по типу требования [12]

Направляющие станков должны обеспечивать правильность траектории движения рабочего органа станка, несущего инструмент или обрабатываемого деталь.

К направляющим станка предъявляются следующие основные требования:

- 1) первоначальная точность изготовления по условиям плоскости граней и их взаимной параллельности, малая шероховатость;
- 2) долговечность направляющих;
- 3) малая величина и постоянство сил трения на направляющих (с увеличением сил трения, особенно при их случайном возрастании, возрастают погрешности позиционирования);
- 4) жесткость направляющих;
- 5) высокие деформирующие свойства.

Выделяют следующие типы направляющих: направляющие смешанного трения, направляющие жидкостного трения, аэростатические направляющие, направляющие качения, комбинированные.

Направляющие смешанного трения получили наибольшее распространение в универсальных тихоходных станках. Для высокоточных станков с высокими скоростями перемещения или при повышенных требованиях к точности установочных движений наибольшее применение получили направляющие качения. Также получают распространение гидродинамические и гидростатические (жидкостного трения) направляющие. При невысоких требованиях к грузоподъемности и динамическим характеристикам применяют аэростатические направляющие. Широкое распространение в настоящее время получают комбинированные направляющие. Они позволяют полнее использовать положительные качества направляющих различных типов при соединении их в одной конструкции.

4.2 Обоснование выбора конструктивной формы и параметров направляющих [13]

Каждый вид направляющих обладает определенными достоинствами и недостатками, совокупность которых предопределяет область их использования.

В зависимости от траектории движения подвижного узла направляющие могут быть прямолинейного и кругового движения, а также вертикальными, горизонтальными и наклонными.

По форме поперечного сечения: прямоугольные (плоские), треугольные (призматические), трапециевидные (типа ласточкиного хвоста), круглые.

Конструктивно направляющие можно выполнять в виде охватывающих и охватываемых. Охватываемые плохо удерживают смазку, охватывающим необходима хорошая защита.

Прямоугольные направляющие технологически отличаются простотой контроля геометрической точности, они воспринимают больше нагрузки и надежны в регулировке зазоров (станки с ЧПУ).

Треугольные направляющие — автоматический выбор зазоров под действием собственного веса, но они не очень технологичны.

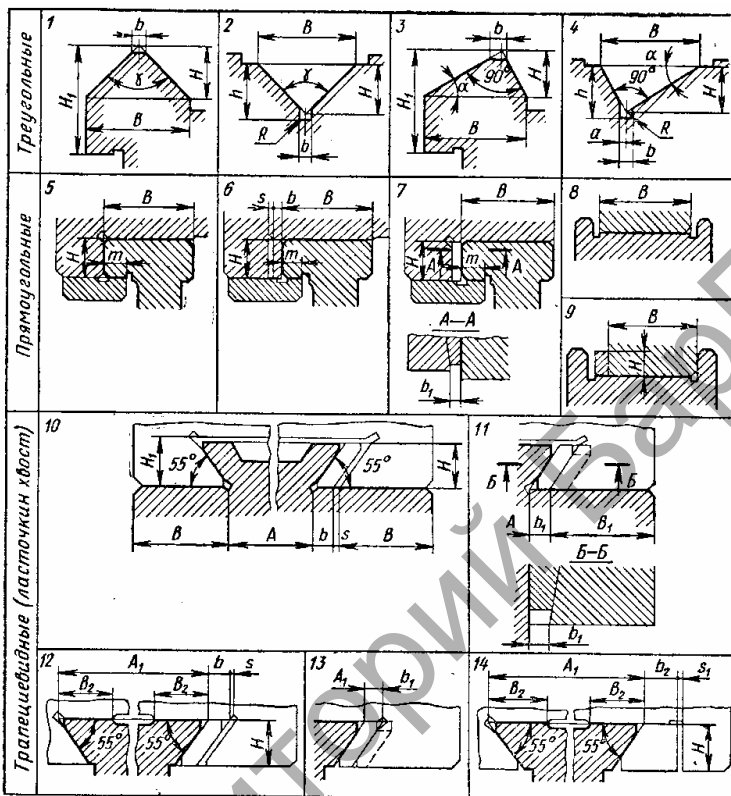
Трапециевидные направляющие отличаются компактностью конструкции, но сложны в изготовлении и контроле. Регулирование зазора у них простое, но они не обеспечивают высокой точности сопряжения.

Круглые направляющие применяют реже.

4.3 Конструирование и расчет направляющих смешанного трения [12]

На рисунке 4.1 представлены конструктивные параметры направляющих смешанного трения. Выбор определенных конструктивных параметров направляющих зависит от многих факторов:

- 1) группы и подгруппы станка и его габаритов (токарный, токарно-револьверный, фрезерный и т. п.);
- 2) автоматизации управления станком (управление вручную или ЧПУ);
- 3) величины действующих нагрузок и направления их векторов.



1, 2 — симметричные; 3, 4 — несимметричные; 5, 8 — без регулировки зазора; 6, 9, 10, 12, 14 — с регулировочной планкой; 7, 11, 13 — с клином

Рисунок 4.1 — Конструктивные параметры направляющих

При выборе требуемых конструктивных параметров направляющих могут возникнуть трудности и проблемы ввиду наличия необходимых технологических возможностей предприятия, на котором предполагается изготавливать спроектированный станок.

Выбор конструктивных параметров направляющих, изображенных на рисунке 4.1, требует от конструктора всестороннего изучения станков — аналогов по применяемым конструкциям направляющих, определения всех нагрузок, действующих на направляющие проектируемого станка, их динамики и векторного направления.

4.3.1 Конструктивное оформление направляющих [12]

Конструктивное оформление направляющих смешанного трения осуществляется на основе одной из исходных форм в соответствии с рекомендациями станкостроения, приведенными на рисунке 4.1, и в зависимости от высоты направляющей H . Длину подвижной детали (длину прилегания) обычно принимают в пределах 1,5—2 от ширины направляющих, а длина неподвижной части во избежание провисания подвижной детали должна быть немного больше суммы длины подвижной детали и общей длины хода.

Регулирование зазоров в направляющих смешанного трения осуществляется клиньями или планками, которые желательно располагать с ненагруженной стороны направляющих, так как они понижают суммарную жесткость системы. Клинья обеспечивают более тонкую регулировку зазора, чем планки, но требуют точной обработки поверхностей, расположенных под заданным углом. Накладные направляющие крепят к базовой детали по всей их длине. При механическом креплении винтами или клеем целесообразно предусматривать надежную фиксацию центрирующими выступами в поперечном направлении.

Применяются накладные направляющие, которые крепят к базовым деталям винтами или приклеивают.

Направляющие изготавливаются из следующих материалов:

- 1) чугуна СЧ (хромирование) — HRC 68-72, толщиной слоя 2—3 мкм;
- 2) стальных накладных — сталь 20, 20Х, 20ХН (цементация и закалка), HRC 60-65;
- 3) азотируемой стали — HV800—1000;
- 4) цветных сплавов типа бронзы (высокая стоимость);
- 5) пластмассы (низкая жесткость).

Примеры конструктивного оформления накладных направляющих приведены на рисунке 4.2. Крепежные винты следует располагать с определенным шагом во избежание искривления накладной планки и волнистости. Требования малого искривления сводятся к выполнению условия, определяемого по формуле

$$t \leq 2h,$$

где t — шаг между винтами;

h — толщина накладных направляющих.

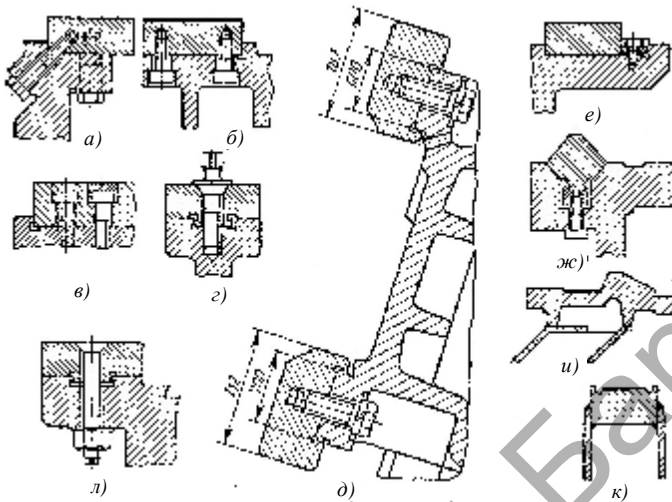


Рисунок 4.2 — Конструкция накладных направляющих

На рисунке 4.2, изображены примеры конструктивного оформления накладных направляющих.

По расчетной схеме и выбранной системе координат составляют уравнение равновесия подвижного узла для прямоугольных направляющих (рис. 4.3, а) и привода ходовым винтом (рис. 4.3, б) и по этим уравнениям определяют реакции на гранях [формулы (4.10)—(4.3)].

Реакции на гранях определяются по формулам

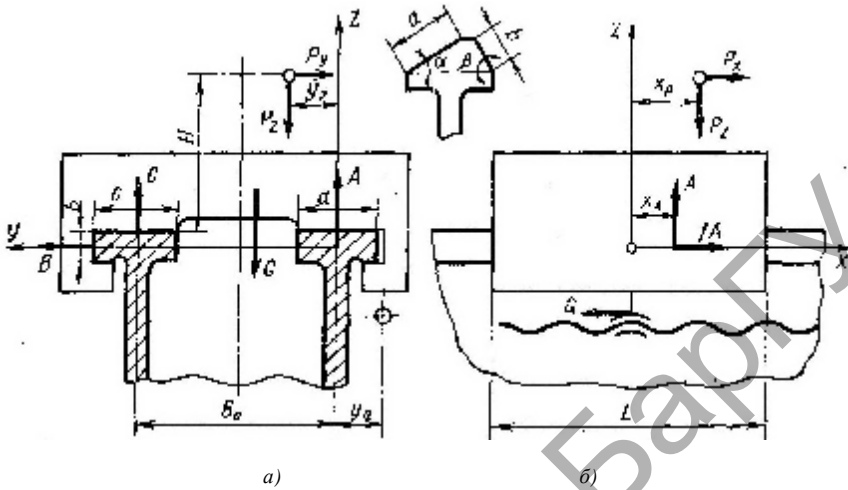
$$A = P_z + G - \frac{P_z y_p + Gd}{B_0}; \quad (4.1)$$

$$B = P_y; \quad (4.2)$$

$$C = \frac{P_z y_p + Gd}{B_0}. \quad (4.3)$$

Тяговая сила определяется по формуле

$$Q = P_x + f(P_z + P_y + G). \quad (4.4)$$



a — прямоугольные направляющие; *б* — привод ходовым винтом

Рисунок 4.3 — Расчетная схема направляющих скольжения

Реакции на гранях направляющих, определенные по формулам (4.1)—(4.3), дают возможность определить величину средних давлений по формулам

$$P_A = \frac{A}{aL}; \quad (4.5)$$

$$P_B = \frac{B}{bL}; \quad (4.6)$$

$$P_G = \frac{C}{cL}. \quad (4.7)$$

Из практики станкостроения на направляющих рекомендуются нижеследующие максимальные давления:

$P = 25 \dots 30 \text{ кгс / см}^2$ — при малых скоростях;

$P = 10 \dots 12 \text{ кгс / см}^2$ — при больших скоростях;

$P = 1 \dots 2 \text{ кгс / см}^2$ — прецизионные станки.

4.4 Гидродинамические направляющие [12]

Создание жидкостного трения на гидродинамическом эффекте направляющих прямолинейного и кругового движения возможно только при больших скоростях, соответствующих скоростям главного движения в станках (рис. 4.4).

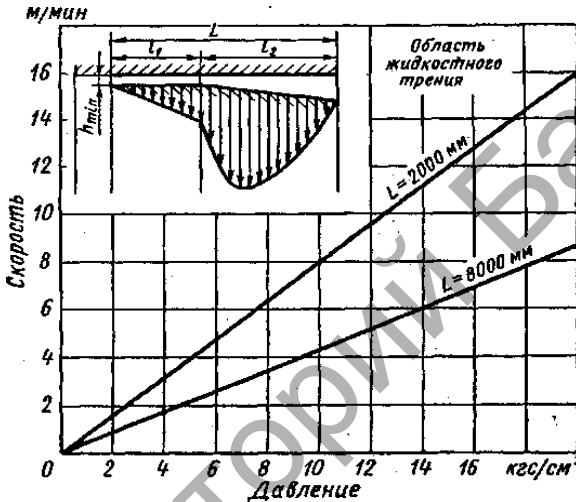


Рисунок 4.4 — Направляющие с гидродинамической смазкой

Критическое значение скорости, необходимое для создания жидкостного трения, определяет по формуле

$$v \geq 2,4 \cdot 10^6 \frac{Ph_{\min}^2}{\mu L^2 B},$$

где P — нагрузка на направляющую, кгс;

h_{\min} — минимальная толщина смазочного слоя (0,06—0,1 мм);

μ — динамический коэффициент вязкости, сП;

L, B — длина, ширина направляющих, мм.

Недостатками гидродинамических направляющих являются:

- 1) нарушение жидкостного трения в период торможения и разгона;
- 2) трудность выбора геометрических параметров оптимального клинового скоса для большого диапазона скоростей и нагрузок;
- 3) сложность системы смазки;
- 4) трудность обеспечения надежной фиксации перемещаемого узла в заданной позиции.

4.5 Гидростатические направляющие [12]

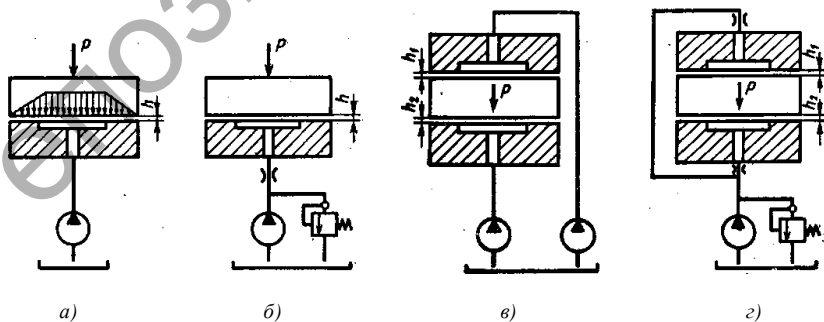
Достоинствами гидростатических направляющих являются:

- 1) обеспечение режима жидкостного трения при любых скоростях и полное устранение износа;
- 2) высокие демфирующие свойства;
- 3) равномерность и высокая чувствительность точных исполнительных движений.

К недостаткам гидростатических направляющих относятся:

- 1) сложность системы смазки;
- 2) трудность обеспечения надежной фиксации перемещаемого узла в заданной позиции.

Незамкнутая (открытая) гидростатическая опора (рис. 4.5, а) питается по схеме насос — карман, незамкнутая гидростатическая опора (рис. 4.5, б) питается через общий дроссель к каждому карману.



а, б — открытых; в, з — закрытых

Рисунок 4.5 — Схемы питания гидростатических направляющих

Замкнутая гидростатическая опора (рис. 4.5, в) имеет систему питания насос — карман. На рисунке 4.5, з, изображена замкнутая гидростатическая опора с дроссельным регулированием.

Грузоподъемность гидростатической опоры (см. рис. 4.3, а) определяется по формуле

$$P = \frac{Q\mu FcFcq}{h^3},$$

где Q — постоянный расход смазки, протекающий через зазор, определяют по формуле

$$Q = \frac{P_k}{R},$$

где P_k — давление в кармане;

$R = \frac{\mu}{h^3} cd$ — сопротивление щели;

μ — коэффициент динамической вязкости;

cq, cF — коэффициенты, зависящие от формы опоры и кармана, определяют по формулам

$$cq \approx 0,5 \cdot 10^{-9} \frac{(B-b)(L-l)}{l(L-l) + b(B-l)}; \quad (4.8)$$

$$cF = \frac{1}{GIB} (2LB + lB + 2lB \cdot Lb). \quad (4.9)$$

4.6 Аэростатические направляющие [12]

Рабочая поверхность аэростатических направляющих разделена на несколько секций. Секции и разделительные канавки делают небольшими по объему.

Грузоподъемность аэростатических направляющих определяют по формуле

$$P = Blf_p(k),$$

где $f_p(k)$ — коэффициент, зависящий от характеристики опоры:

$$k = 17,3 \frac{l^2 h^3}{Bt^4}$$

На рисунке 4.6 изображено конструктивное оформление аэростатических направляющих, которое основано на разделении всей рабочей поверхности на несколько карманов (секций) с независимым подводом и распределением воздуха.

Коэффициент $f_p(k)$ при расчете грузоподъемности назначают в зависимости от характеристики k и подводимого в канавку давления p_k (рис. 4.7). По условию устойчивости характеристику опоры k ограничивать интервалом значений $0,3 < k < 2$.

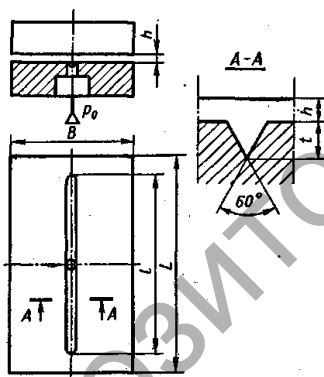


Рисунок 4.6 — Аэростатическая опора

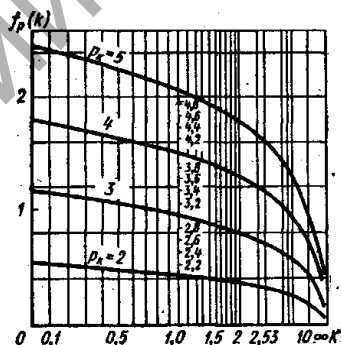


Рисунок 4.7 — Коэффициент нагрузочной способности аэростатической опоры

Карманы и распределительные канавки делают в аэростатических опорах небольшими по объему из-за опасности потери устойчивости и самовозбуждения интенсивных колебаний типа пневмомолотка. Обычно применяют микроканавки треугольного профиля и малой глубины, соответствующей условию обеспечения устой-

чивости, когда объем воздуха в канавке в 4—5 раз меньше объема воздуха в щели опоры:

$$t \leq \sqrt{0,7Bh},$$

где B — ширина опоры;

h — толщина щели.

4.7 Направляющие качения [12]

Направляющие качения обладают малым трением и износом, а при условии надежной защиты загрязнений обеспечивают достаточную долговечность, высокую контактную жесткость (особенно роликовые направляющие при правильно выбранном предварительном натяге).

Направляющие качения в основном изготавливаются из стали ШХ15 и ШХ9 (HRC 60—62).

При определении числа тел качения z должно соблюдаться условие по формулам

$$z \leq \frac{q}{4}, \quad (4.10)$$

где q — нагрузка на единицу длины ролика, кгс / см;

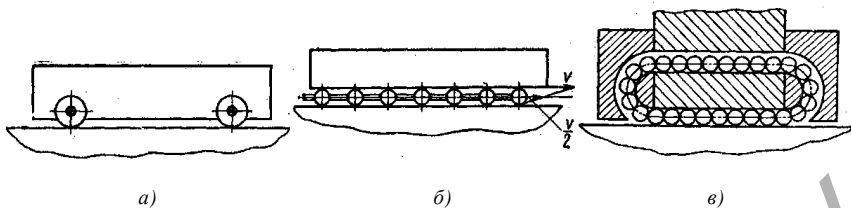
$$z \leq \frac{P}{3\sqrt{d}}, \quad (4.11)$$

где P — нагрузка на один шарик, кгс / см;

d — диаметр шарика, см.

На рисунке 4.8 изображены основные схемы направляющих качения.

Конструктивные формы направляющих качения используют те же исходные профили, которые применяют для направляющих смешанного трения, как это изображено на рисунке 4.1. На рисунке 4.9 представлены различные варианты конструкции направляющих качения, которые возможны в результате сочетаний основных форм рабочих граней, а также при варьировании тел качения.



a) — на роликах с закрепленными осями; *б*) — с потоком тел качения; *в*) — с возвратом тел качения

Рисунок 4.8 — Основные схемы направляющих качения

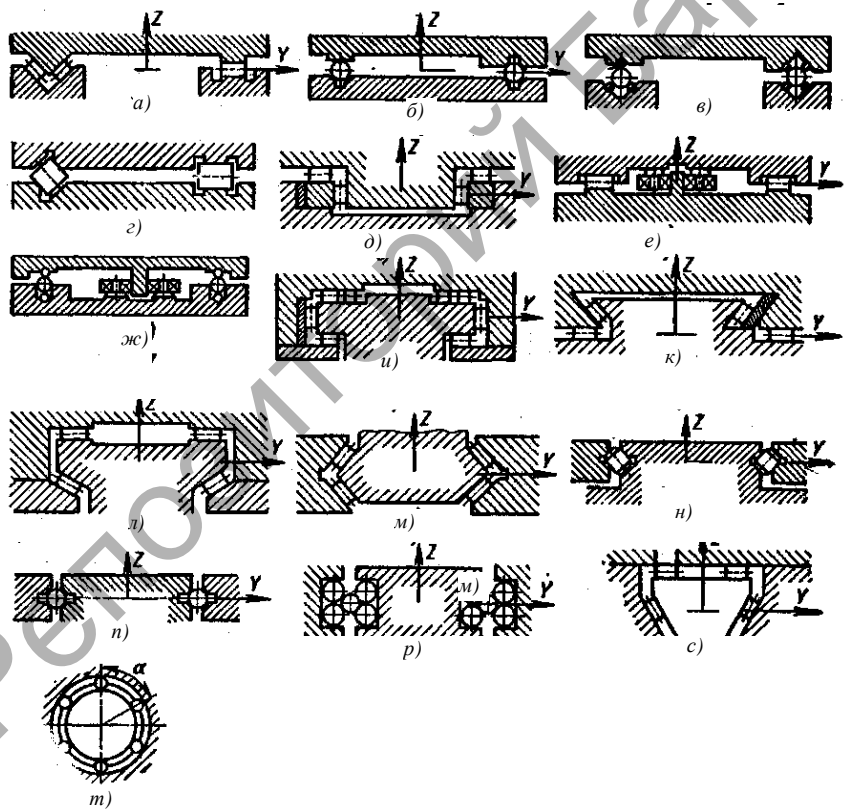


Рисунок 4.9 — Формы направляющих качения

Предварительный натяг в направляющих качения устраняет вредное влияние зазоров и обеспечивает жесткость направляющих в 2—3 раза.

Универсальным способом обеспечения натяга является применение регулирующих устройств или пружин.

4.8 Комбинированные направляющие

Соединение направляющих различных типов в одной конструкции позволяет полнее использовать их положительные свойства:

1. Направляющие качения и скольжения.

Преимущество элементов качения по сравнению со скольжением заключается в том, что в таких направляющих они могут быть использованы на основных, боковых или вспомогательных гранях. Остальные грани выполняют как поверхности скольжения. Роликовые опоры на основных горизонтальных гранях применяют в направляющих тяжелых перемещающихся узлов (столы тяжелых фрезерных станков, подвижные стойки тяжелых расточных станков, суппорты тяжелых токарных станков и т. п.).

2. Комбинированные гидростатические и гидродинамические направляющие.

Такие опоры целесообразны при большом диапазоне регулирования скоростей, что в направляющих практически не имеет места. Такие опоры применяют для быстроходных шпинделей с большим диапазоном регулирования частоты вращения.

3. Гидростатические и аэростатические направляющие.

Такие направляющие могут найти применение в тех случаях, когда аэростатические опоры выполняют вспомогательные функции уплотняющих устройств.

4.9 Конструирование смазочной системы и защиты направляющих

Для надежной работы направляющих необходимы совершенные защитные устройства, предохраняющие от попадания на рабочие поверхности грязи, мелкой стружки и абразивной пыли:

- 1) козырьки (износ в 1,5—2 раза меньше);
- 2) уплотнители;
- 3) неподвижные щитки;
- 4) телескопические щитки;
- 5) стальные ленты;
- 6) гормоникообразные меха.

4.10 Обоснование технических требований и методов технологического обеспечения качества направляющих

Технические требования назначаются в зависимости от точности станка. Технологичность направляющих, в свою очередь, зависит от вида выбранных направляющих.

Конструкция направляющих должна обеспечивать необходимую точность перемещения рабочего органа при прямолинейной или круговой траектории и длительное сохранение этой точности. Необходимая точность перемещения достигается благодаря соответствующей геометрической точности направляющих, применению направляющих такой формы, которая исключает возможность свободы перемещения рабочего органа под действием составляющих сил резания, а также высокой жесткости направляющих, предотвращающих значительные перемещения вследствие упругих деформаций.

4.11 Смазка направляющих [6]

Смешанное трение возникает при периодической подаче смазки на направляющие скольжения. При непрерывной подаче масла под небольшим давлением достигается гидроразгрузка и значительно улучшаются условия смазки, но возникают трудности с возвратом масла.

Механическая разгрузка осуществляется с помощью подпружиненных роликов — имеет место распределение нагрузки между направляющими качения и скольжения.

Наиболее благоприятными условиями смазки являются смазки через закрытые каналы поперечные на направляющие подвижного рабочего органа.

Необходимая точность перемещения достигается благодаря соответствующей геометрической точности направляющих и применению направляющих соответствующих форм, исключающих дополнительную погрешность под воздействием сил резания.

При этом необходимо решать вопросы технологичности, т. е. возможности обеспечения требуемой точности направляющих. При невозможности устранения предельно допустимых зазоров за счет точности изготовления нужно принимать специальные устройства для устранения зазоров.

Для длительного сохранения точности направляющих размеры направляющих должны обеспечивать давление, не превышающее допустимо, также необходима надежная система смазки. Профиль направляющих должен быть выбран с учетом влияния износа на изменение точности перемещения.

Г л а в а 5 СМАЗОЧНЫЕ СИСТЕМЫ СТАНКОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Смазки имеют большое значение для обеспечения работоспособности и долговечности станка, они способствуют уменьшению потерь на трение, повышению допустимых скоростей за счет отвода тепла из зоны тепловыделения и уменьшению износа трущихся деталей, а также увеличивают бесшумность и плавность работы, КПД приводов [6].

5.1 Обоснование конструкции и принципиальной схемы системы по режиму смазывания [9]

В смазках применяют оксидные минеральные масла, а консистентные используют реже, в основном для смазки подшипников качения и тихоходных зубчатых передач.

Важной характеристикой масла является вязкость. Высокая скорость в подвижном соединении и малая удельная скорость нагрузки требуют малой вязкости.

Различают следующие системы смазывания:

- 1) индивидуальные с независимым подводом масла к каждой точке;
- 2) централизованные с подводом масла к группе точек;

3) комбинированные.

Смазывание может быть непрерывным, периодическим, циркуляционным, ресурсным.

Неответственные опоры, направляющие смазывают с помощью масленок (с резервуаром или питающимся от шприца). Простым и распространенным способом смазывания коробок скоростей является разбрызгивание масла зубчатыми колесами, а в коробках подач — погружением колес в масляную ванну. Централизованная циркуляционная система смазывания от насоса обеспечивает непрерывную и равномерную подачу масла, незначительные его потери, фильтрацию, хороший теплоотвод. Эффективной, но дорогой является система смазывания быстроходных шпинделей специально образуемым масляным туманом. Наиболее совершенно дозированное смазывание, производимое периодически заданным количеством смазочного материала [9].

На рисунке 5.1 изображена система циркуляционной смазки типа С-ЦЭМ с электрическим питанием и со станцией циркуляционной смазки.

5.2 Определение расхода смазочного материала [6]

Производительность насоса определяется исходя из того, что количество тепла, выделяемое при трении, отводится маслом, циркулирующим в системе. Производительность насоса определяется по формуле

$$Q = \frac{860}{60c\gamma\Delta t} N(1 - \eta) = kN(1 - \eta),$$

где Q — количество подаваемой смазки, л / мин;

γ — удельный вес масла, кг / л;

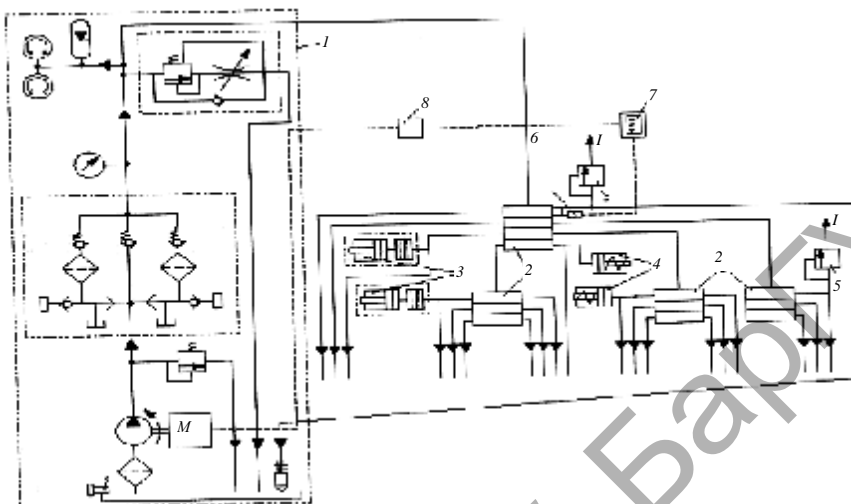
Δt — перепад температуры масла в градусах при поступлении и выходе:

$\Delta t = 5^\circ - 8^\circ$ — зубчатые передачи;

$\Delta t = 30^\circ - 40^\circ$ — подшипники скольжения;

c — средняя удельная теплоемкость смазки ($c = 0,4$ ккал / кг град);

$k = 1 - 3$.



- 1 — станция циркуляционной смазки; 2 — питатели последовательной смазки;
 3; 4 — индикаторы блокирования линии; 5 — клапаны предохранительные 820;
 6 — микропереключатель; 7 — блок управления; 8 — реле промежуточное

Рисунок 5.1 — Система циркуляционной смазки типа С-ЦЭМ с электрическим приводом

Объем резервуара-отстойника принимают равным производительности насоса за 5...6 мин работы. Отстойник должен иметь спусковое отверстие для слива масла, закрываемое пробкой.

Иногда для охлаждения масла устанавливают специальные теплообменники, воздушные и водяные, а также холодильные установки.

5.3 Проектирование системы и устройств для смазывания в агрегатных станках, линиях, универсальных станках и в станках с числовым программным управлением

Для смазывания быстроходных шпинделей и других сборных единиц станка применяют смазывание масляным туманом (рис. 5.2).

Схема автоматической централизованной системы смазывания зубострогального станка 5А250 показана на рисунке 5.3.

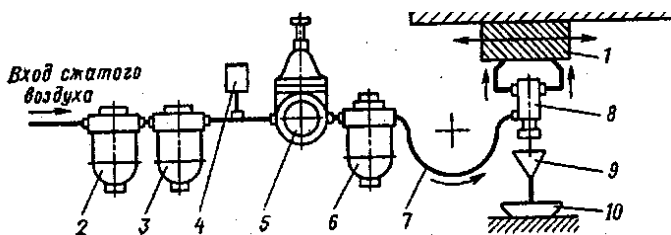
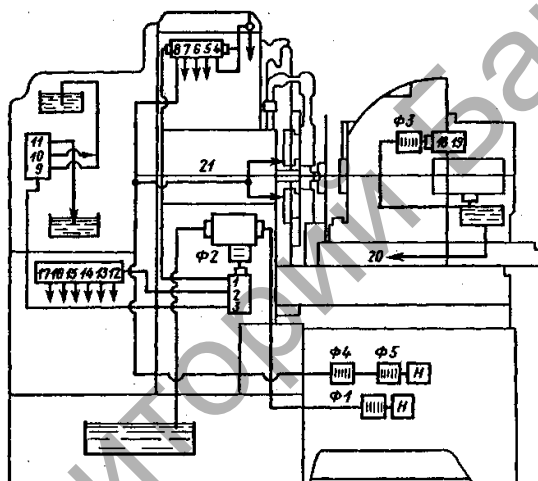


Рисунок 5.2 — Схема смазывания масляным туманом



- Н — насосы; 1—21 — места подвода смазки;
 4—8 — корпус льюлки; 9—11 — привод;
 12—17 — распределительный барабан;
 18, 19 — бабка изделия; 20 — гидротатрон;
 21 — направляющие ползунов;
 Ф1—Ф5 — фильтры очистки

Рисунок 5.3 — Схема смазывания зубострогального станка 5A250

Достоинство смазывания масляным туманом заключается в том, что воздух, используемый для распыления масла, уносит тепло трения. По сравнению с обычным смазыванием расход масла значительно уменьшается, а также практически отсутствуют утечки.

При смазывании перемещающегося механизма масляным туманом воздух под давлением проходит через влагоотделитель 2, 3, реле давления 4, регулятор давления 5 и попадает в распределитель 6, затем по шлангу 7 через распределитель 8 поступает к механизму станка 1. Использованное масло через воронку 9 стекает в сборник 10.

Глава 6 АВТОМАТИЗАЦИЯ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВ СТАНКОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

6.1 Устройство для загрузки заготовок

Конструирование и расчет питания бунтовым материалом и прутками, бункерных вибрационных механизмов магазинного питания, устройств смены заготовок, типа тел вращения и призматической формы на многоцелевых станках [16].

Конструкция механизма питания зависит от вида заготовки.

Прутки — прутковые механизмы питания с использованием цанг для подачи и зажима заготовки.

Штучные заготовки (магазинные устройства заготовки) укладываются в специальный лоток (магазин), откуда они автоматически попадают в рабочую позицию станка.

В прутковых автоматах подача прутка производится при помощи цангового механизма. Размер цанги меньше диаметра прутка, за счет этого производится отдача заготовки. Управление механизмом подачи производится при помощи кулачка.

Применяются также механизмы питания без подающих цанг. Подача прутков происходит под действием собственного веса, а также с помощью груза, пневматики или роликами.

В качестве примера конструктивного оформления шпиндельного узла на рисунке 6.1 показан шпиндель пруткового автомата на подшипниках качения с приводом от зубчатых колес.

В магазинные устройства детали укладываются в специальные лотки-магазины (рис. 6.2).

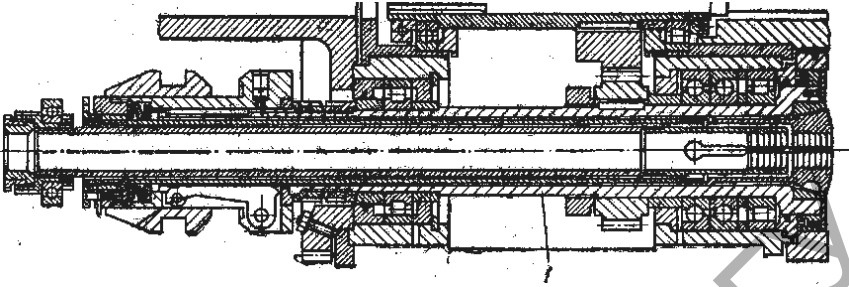


Рисунок 6.1 — Шпиндельный узел многшпindleльного пруткового автомата

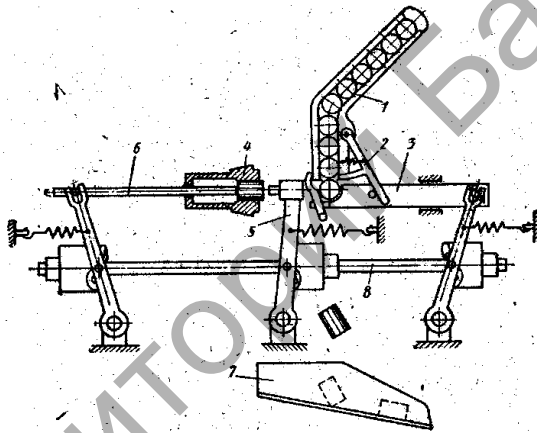


Рисунок 6.2 — Магазинное загрузочное устройство

В магазине 1 деталь удерживает толкатель 2. Для подачи детали в зону обработки от кулачка распределительного вала 8 перемещается питатель 3, в захват которого отсекается одна деталь. Заталкиватель 5 посылает деталь в цангу 4 (магазин условно повернут от располагаемого перпендикулярно плоскости чертежа). После окончания обработки выталкиватель 6 выталкивает деталь из зажимной цанги и она попадает в лоток. Размеры магазина должны вмещать такой запас заготовок, который позволяет работать станку без загрузки 15...30 минут.

Магазинное питание значительно повышает производительность труда, но сохраняется ручной труд по укладке заготовок.

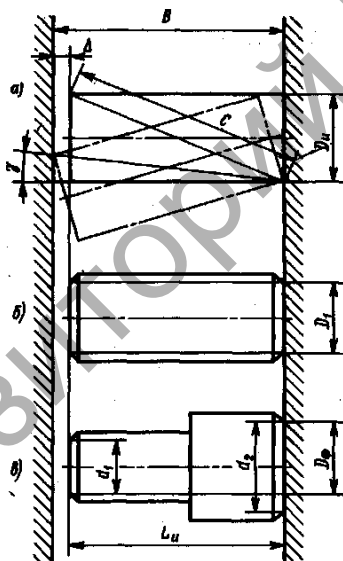
При конструировании лотка магазина необходимо рассчитать зазор между заготовками и стенками лотка

$$\Delta = \frac{\sqrt{D_{\text{и}}^2 + L_{\text{и}}^2}}{\sqrt{1 + \mu_1^2}},$$

где $D_{\text{и}}$, $L_{\text{и}}$ — соответственно диаметр и длина заготовки;

$\mu_1 = \text{tg} \gamma$ — коэффициент трения заготовки о лоток (рис. 6.3, а).

Для заготовок, у которых на наружных диаметрах у торцов имеются $D_{\text{и}} = D_1$ (рис. 6.3, б), $D_{\text{и}} = D_{\phi} = \frac{d_1 + d_2}{2}$ (рис. 6.3, в).



B — ширина лотка; C — длина заготовки по диагонали; D_1 — диаметр заготовки до начала фаски; γ — угол касания диагонали с лотком; D_{ϕ} — расстояние между точками начала фасок при ступенчатых заготовках

Рисунок 6.3 — Расчетная схема лотка

При расчетах предельного зазора Δ используют наименьшие размеры заготовок. При проектировании лотка необходимо иметь в виду, что $\Delta_{\max} \leq \Delta$, где Δ_{\max} — наибольший расчетный зазор, который определяют по формуле

$$\Delta_{\max} = \Delta L_{\text{И}} + \Delta B_{\text{И}} + \Delta_{\min},$$

где $\Delta L_{\text{И}}$, $\Delta B_{\text{И}}$ — допуски соответственно на длину и ширину лотка, мм;

Δ_{\min} — наименьший зазор между лотком и заготовкой.

На рисунке 6.4 показано несколько распространенных схем ориентации. Если заготовка имеет форму колпачка (см. рис. 6.4, а), то применяют крючковые механизмы. Вращающиеся крючки ворошат заготовки в бункере, в результате они надеваются на крючки и в ориентированном направлении подаются в лоток (трубку). При наличии в заготовке шляпки (см. рис. 6.4, б) применяют механизмы с качающимся сектором, имеющим щель. Заготовки западают в щель и повисают на шляпке.

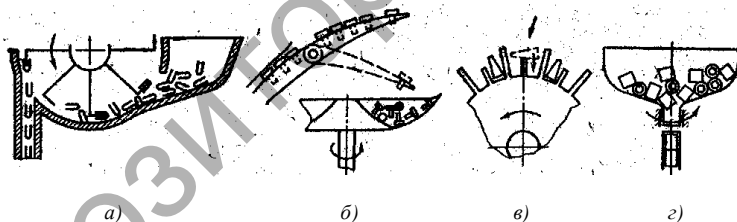


Рисунок 6.4 — Схемы ориентации заготовок

Часто для ориентации используется смещение центра тяжести у заготовки относительно ее середины. В этом случае в карманах вращающегося диска имеются перегородки (см. рис. 6.4, в), и заготовка попадает в одну из половинок кармана всегда в одном положении. Для простых деталей используют вращение бункера и западание их трубку [16] (см. рис. 6.4, з).

Применяются также вибрационные бункерные устройства. Бункер представляет собой цилиндр с внутренней спиралью для движения

по ней заготовок. Корпус при помощи электромагнитов совершает направленные колебательные движения вокруг оси, благодаря чему заготовки перемещаются (ползут) вверх по спирали [16].

Автоматически загрузочные устройства для заготовок типа тел вращения, обрабатываемых на токарных, круглошлифовальных станках с ЧПУ, применяют в виде манипуляторов или рычажным захватом механизма (табл. 6.1) [13].

В многооперационных станках используют различные схемы автоматической смены столов-спутников с автономными одно- или многоместными загрузочными устройствами (табл. 6.2). Применение многоместных загрузочных устройств дает возможность обеспечить длительность работы станка без вмешательства оператора.

Т а б л и ц а 6.1 — Схемы манипуляторов для заготовок типа тел вращения, обрабатываемых на станках с ЧПУ

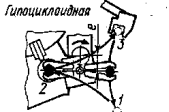
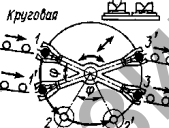
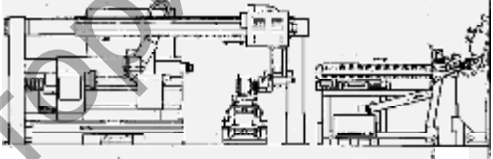

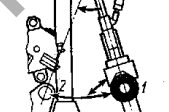
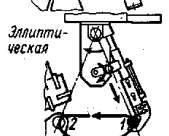
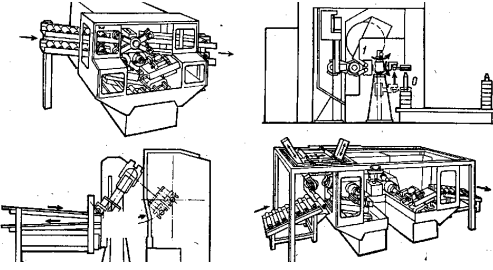
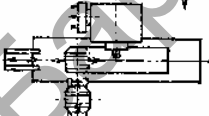
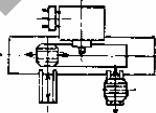
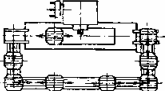
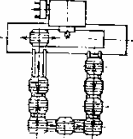
Тип загрузочного устройства	Траектория движения заготовки (детали)	Пример конструктивной схемы
Поворотное	<p><i>Гипоциклоидная</i></p>  <p><i>Круговая</i></p> 	
Рычажное	<p><i>Прямолинейная</i></p>  <p><i>Круговая</i></p>  <p><i>Эллиптическая</i></p> 	

Таблица 6.2 — Схемы манипуляторов для автоматической смены заготовок на многооперационных станках с ЧПУ

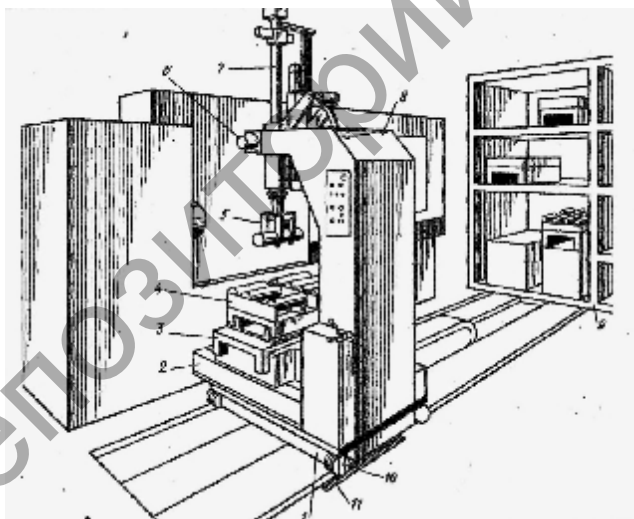
Тип загрузочного устройства	Загрузка	Схема загрузки
Одноместные	Продольная	
	Поперечно-продольная Т-образная	
	Поперечно-продольная Г-образная	
	Поперечно-продольная П-образная	
Двухместные	Поперечная	
	Поперечная загрузка и поворотное перемещение загрузочного устройства	
Многоместные	Продольная двусторонняя	
	Поперечная загрузка и параллельное перемещение транспортера	
	Поперечная загрузка и кольцевое движение транспортера (типа карусели)	

6.2 Конструирование и расчет промышленных роботов для загрузки и выгрузки заготовок

Промышленными роботами называют автоматически быстро-перенастраиваемые универсальные манипуляторы с ЧПУ, способные с помощью механических рук выполнять операции, относящиеся к деятельности человека, и осуществляющие основные технологические и вспомогательные операции (рис. 6.5).

При создании новых конструкций промышленных роботов необходимо определить следующие их параметры и данные:

- 1) универсальность, специализацию;
- 2) требуемую точность позиционирования;
- 3) допустимую скорость перемещения исходя из заданной точности позиционирования определяем по формулам (6.1)—(6.3).



- 1 — колесное основание; 2 — крестовый стол;
3 — приспособление для базирования и установки;
4 — специальная тара; 5 — сменные захваты; 6 — ось качания руки;
7 — рука; 8 — колонна; 9 — автоматизированный склад

Рисунок 6.5 — Промышленный робот РБ-50Ф2

Допустимая скорость перемещения, определяемая по формулам (6.1)—(6.3), зависит от величины вылета консоли руки робота — L_x .

При $L_x = 0,4–1,2$ м:

$$v_{x,\text{расч}} = \frac{1,4\sqrt{L_x^4\sqrt{\Delta l}}}{\sqrt[3]{G_{\text{дет}}}}, \quad (6.1)$$

где L_x — вылет консоли руки робота;
 Δl — погрешность позиционирования;
 $G_{\text{дет.}}$ — вес детали, заготовки.

При $L_x = 0,05–0,8$ м:

$$v_{x,\text{расч}} = \frac{2L_x^4\sqrt{\Delta l}}{\sqrt[3]{G_{\text{дет}}}}. \quad (6.2)$$

При $L_x = 0,8–2$ м:

$$v_{x,\text{расч}} = \frac{1,6L_x^4\sqrt{\Delta l}}{\sqrt[3]{G_{\text{дет}}}}. \quad (6.3)$$

Скорость вертикального перемещения руки рассчитывается по формуле

$$v_{z,\text{расч}} = \frac{a_z\sqrt{L_z^4\sqrt{Dl}}}{\sqrt[3]{G}}.$$

где a_z — коэффициент, зависящий от конструкции привода, который при гидравлическом приводе равен $a_z = 3$;

L_z — путь при вертикальном перемещении;

G — вес перемещаемого элемента и детали.

Для определения допустимой быстроходности устройства поворота всей руки относительно вертикальной оси может быть использована формула

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{0,5\sqrt{\varphi^4\sqrt{\delta}}}{\sqrt[3]{(2L_x)^4}},$$

где φ — угол поворота руки, рад;

δ — погрешность углового позиционирования, с.

6.3 Устройство для автоматического зажима заготовок [16]

Для надежного закрепления заготовок в процессе обработки в станках применяются разнообразные зажимные механизмы (патроны, цанговые механизмы, приспособления для закрепления заготовок на столе и др.).

Кроме того, в станках-автоматах необходимо осуществлять автоматическую подачу заготовки к месту обработки и съем обработанных деталей. Конструкция механизмов подачи штучных заготовок включает ряд специальных устройств (бункеров, магазинов, транспортеров и др.).

Наиболее массовым механизмом, применяемым в различных станках с вращением заготовки, является трехкулачковый самоцентрирующийся патрон. При зажиме детали неправильной формы применяются патроны с независимым перемещением кулачков.

Приводы бывают электромеханическими, гидравлическими, пневматическими.

Для зажима прутков и штучных заготовок используют цанговые зажимные механизмы, которые применяются в револьверных станках, прутковых автоматах и других станках (рис. 6.6).

Основным звеном цангового механизма является цанга, изображенная на рисунке 6.7.

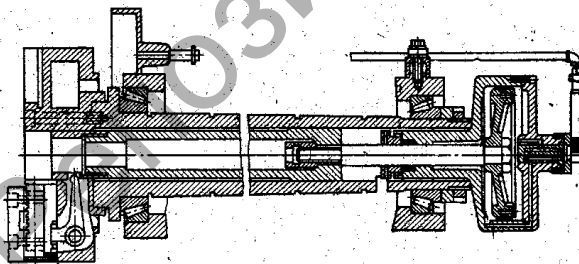


Рисунок 6.6 — Трехкулачковый патрон с пневматическим приводом

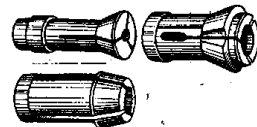
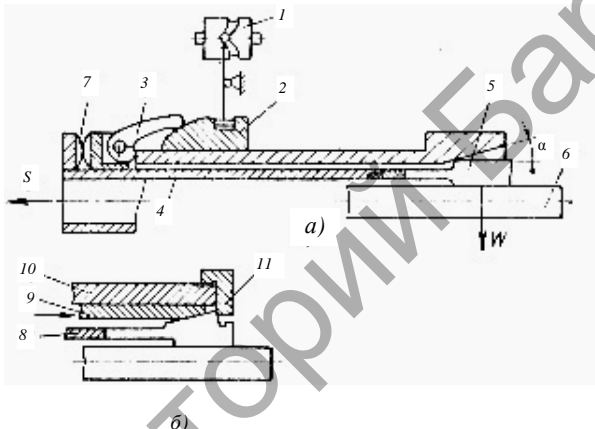


Рисунок 6.7 — Зажимные цанги

6.3.1 Конструирование цанговых механизмов, зажимных патронов [16]

Схема работы цангового механизма представлена на рисунке 6.8, *а*. От кулачка 1 перемещается зажимная муфта 2, которая своими рычагами 3 втягивает зажимную трубу 4 с цангой 5. Лепестки цанги сходятся и зажимают пруток 6. Упругое звено 7 выполняет функцию уменьшения перегрузок [16].



- 1 — кулачок; 2 — зажимная муфта; 3 — рычаги;
4 — зажимная труба; 5 — цанга; 6 — пруток; 7 — звено;
8 — цанга; 9 — зажимная труба; 10 — шпindelь;
11 — упор цанги в специальную гайку

Рисунок 6.8 — Схема цангового зажимного механизма

Широкое распространение получили цанговые зажимные механизмы, в которых цанга 8 (рис. 6.8, *б*) упирается своим торцом в специальную гайку 11, навинченную на шпindelь 10. Зажимная труба 9 перемещается вдоль оси и сжимает лепестки цанги. Этот метод обеспечивает большую точность зажима по длине.

Цанговые механизмы обеспечивают быстрдействие и удобны для закрепления деталей, как штучных так и прутковых, при автоматизации. Так как основным звеном механизма является цанга 8

(см. рис. 6.7), представляющая собой стальной стакан с лепестками (их обычно три), которые имеют утолщенную головку с конической частью и зажимными губками. При втягивании цанги в коническое отверстие ее лепестки сходятся и зажимают заготовку. Цанговые механизмы имеют небольшие размеры и размещаются внутри шпинделя. Наиболее распространены цанги с диаметром отверстия 2—60 мм [16].

Мелкие зажимные цанги изготавливают из стали У6А, У7, У8, У10 и 9ХС. Для цанг сложной конфигурации и больших размеров применяют стали 4ХС, Х, 12ХН3А. Цанги подвергают закалке или цементации. Рабочая часть цанги (ее губка) должна иметь более высокую твердость (до 60 HRC) по сравнению с остальными поверхностями цанги) [16].

Сила, необходимая для зажима заготовки, определяется по формуле

$$W = \frac{\sqrt{P_z^2 + P_x^2}}{f},$$

где P_x и P_z — тангенциальная и осевая составляющие силы резания;

f — коэффициент трения (сцепления) между кулачками патрона и обрабатываемой заготовкой:

$f = 0,25$ — гладкая поверхность кулачка;

$f = 0,3—0,5$ — насечки на кулачках;

$f = 0,8—1$ — острая насечка на кулачках.

6.3.2 Трехкулачковые самоцентрирующиеся стандартные патроны спирально-реечные, стандартные четырехкулачковые патроны с независимым перемещением кулачков [16]

Крутящий момент, стремящийся повернуть заготовку в патроне, определяется по формуле

$$M = W_0 f n \frac{D}{2} = W f \frac{D}{2}.$$

Рычажные патроны:

$$Q = 3k \left(1 + \frac{3af_1}{L} \right) \frac{l_1}{l} W_0,$$

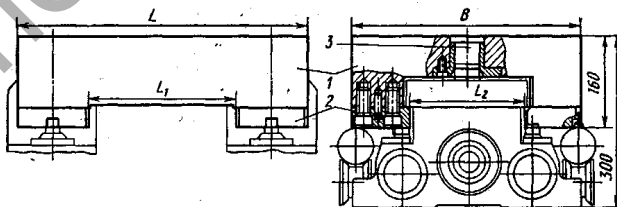
- где k — коэффициент, учитывающий потери на трение в механизме патрона, равный 1,05;
 a — расстояние от точки приложения силы к кулачку до направляющих;
 f_1 — коэффициент трения на направляющих, равный 0,15;
 l и l_1 — малые и большие плечи рычага;
 L — длина направляющей части кулачка в корпусе патрона.

6.4 Конструирование приспособлений-спутников [12]

Приспособления-спутники применяются для закрепления деталей сложной формы, неудобной для базирования и в переналаживаемых автоматических линиях, что дает возможность обработки нескольких деталей (рис. 6.9).

Приспособление-спутник представляет собой плиту с зажимными устройствами для базирования и закрепления детали и самого спутника. Базирование осуществляется с лишением заготовки и спутника шести степеней свободы.

Для повышения точности производится выборка зазоров при базировании, осуществляется расчет погрешности при базировании.



1 — плита; 2 — планки с отверстиями под фиксаторы;
3 — точные фиксаторы

Рисунок 6.9 — Приспособление-спутник

Приспособления-спутники наиболее часто устанавливаются на многопозиционных агрегатных станках и автоматических линиях спутникового типа (рис. 6.10).

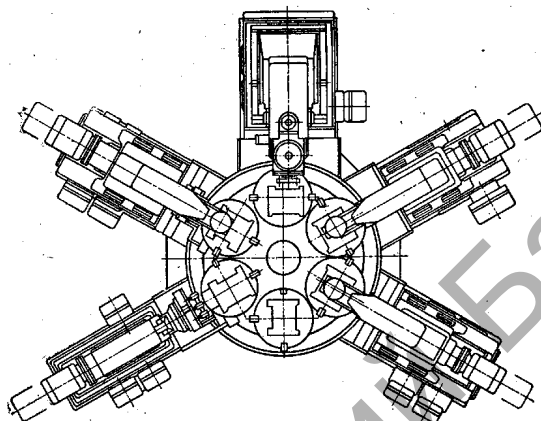


Рисунок 6.10 — Многопозиционный агрегатный станок с поворотным столом

Например, корпуса электродвигателей часто обрабатываются многопозиционных агрегатных станках с поворотным столом (см. рис. 6.10) и с использованием дополнительных устройств, обеспечивающих поворот детали вокруг вертикальной оси. Это дает возможность вести многостороннюю обработку корпуса [12].

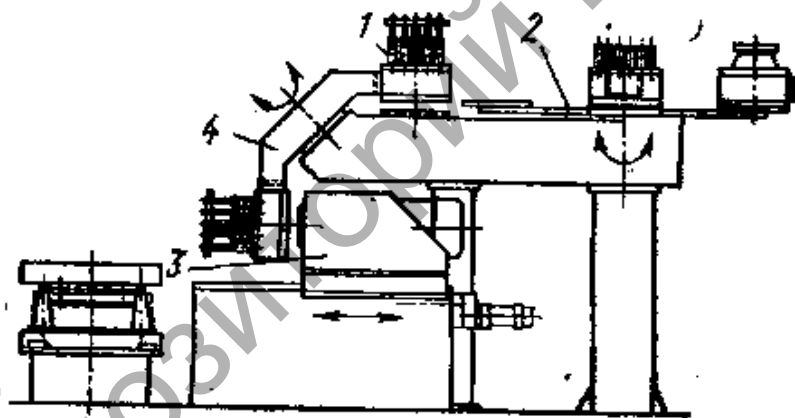
6.5 Устройства для смены инструмента

6.5.1 Обоснование для выбора устройств автоматической смены инструментов [13]

Выбор устройств автоматической смены инструментов (УАСИ) во многом зависит от конструкции станка и от вида выполняемых им работ.

Устройство смены инструмента в станках с ЧПУ включает в себя накопители необходимых инструментов (шпиндельных револьверных головок, инструментальных магазинов, склады-стеллажи); автооператоры или манипуляторы с захватными устройствами, зажимные механизмы в шпинделе или резцедержателе; транспортирующие механизмы и устройства управления, обеспечивающие автоматический цикл поиска необходимого инструмента, передачу его в рабочую зону станка, установку в определенной позиции в инструментальном шпинделе или резцедержателе, контроль состояния во время рабочего цикла и возврат в конце цикла в накопитель или на склад.

В агрегатных станках может производиться смена многошпиндельных головок (рис. 6.11).



1 — сменные многошпиндельные насадки; 2 — магазин специальный; 3 — шпиндель агрегатной силовой головки станка; 4 — автооператор с наклонной осью

Рисунок 6.11 — Устройство автоматической смены многошпиндельных насадок в агрегатном станке с ЧПУ

Токарный станок с ЧПУ может быть оснащен устройством для автоматической смены резцовых головок с унифицированными базовыми поверхностями (рис. 6.12).

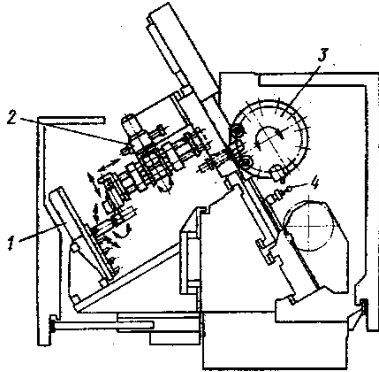


Рисунок 6.12 — Схема токарного станка с ЧПУ и устройством автоматической смены резцовых головок

В таблице 6.3 изображены механизмы автоматической смены инструментов автооператором и магазином.

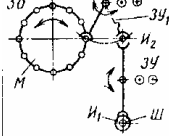
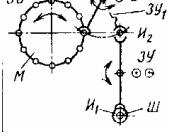

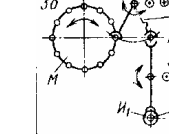
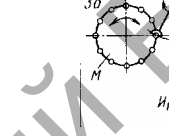
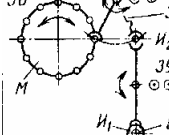
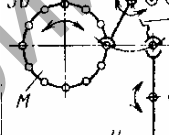
Условные обозначения, указанные в таблице 6.3: I, II, III — положение схвата автооператора; М — магазин; И — инструмент; Ш — шпиндель; ЗУ — захватное устройство; РГ — револьверная головка; К — кантователь; \rightarrow И \leftarrow — зажим инструмента в шпинделе; \rightarrow ИМ(Ш) — захват инструмента из магазина (шпинделя) \leftarrow ИМ(Ш) — установка в магазине (шпинделе); \downarrow М(ЗУ) — поворот магазина захватного устройства; $\leftarrow \updownarrow \rightarrow$ (+) — поступательное движение в плоскости чертежа (перпендикулярно данной плоскости).

Т а б л и ц а 6.3 — Механизмы автоматической смены инструментов автооператором и магазином

Тип автооператора	Схема механизма	Цикл работы механизма
<i>Однозахватный</i>		
С качательным и осевым движениями		\downarrow ЗУ (II); \rightarrow И, Ш; \leftarrow И, \rightarrow ; \odot ЗУ; ЗУ (III); \odot ЗУ; \rightarrow И, М; \downarrow ЗУ (II); М; \downarrow ЗУ (III); \rightarrow И, М; \odot ЗУ; \downarrow ЗУ (II); \odot ЗУ; \rightarrow И, Ш; \leftarrow И, \rightarrow ; \downarrow ЗУ (I)

Продолжение табл. 6.3

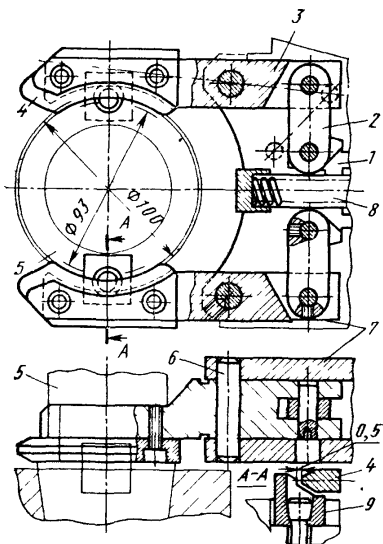
Тип автооператора	Схема механизма	Цикл работы механизма
С прямолинейным осевым движением и револьверной головкой		$\downarrow 34; \rightarrow I_1 \text{ Ш}; \leftarrow I_1 \rightarrow;$ $\uparrow 34; \rightarrow I_n \text{ М};$ $\downarrow 34; \text{ М};$ $\uparrow 34; \rightarrow I_{n+1} \text{ М};$ $\downarrow 34; \rightarrow I_{n+1} \text{ Ш}; \rightarrow I_{n+1} \leftarrow;$ $\uparrow 34; \text{ РГ}$
<i>Двухзахватный</i>		
С вращательным и осевым движениями		$\uparrow 34; \rightarrow I_1 \text{ Ш}; \leftarrow I_1; \rightarrow I_2 \text{ М};$ $\uparrow 34; \text{ } 34 (180^\circ);$ $\uparrow 34; \rightarrow I_2 \text{ Ш}; \rightarrow I_2; \leftarrow I_1 \text{ М};$ $\downarrow 34 (90^\circ); \downarrow 34; \text{ } \text{ М}$
С прямолинейными радиальными движениями и двумя магазинами		$\downarrow 34; \rightarrow I_1 \text{ Ш}; \leftarrow I_1; \uparrow 34; \rightarrow$ $\odot M_1; \rightarrow I_2 \text{ М}; \downarrow 34; \rightarrow I_2 \text{ Ш}; \rightarrow I_2 \leftarrow;$ $\uparrow 34; \odot M_1; \odot M_1; \odot M_1; \rightarrow I_2 \text{ М}; \odot M_1;$ $\downarrow 34; \rightarrow I_2 \text{ Ш}; \rightarrow I_2; \uparrow 34; \odot M_2; \rightarrow I_2 \text{ М};$ $\odot M_2; \odot M_2; \odot M_2; \rightarrow I_2 \text{ М}; \odot M_2$
С вращательным и радиальными движениями		$\rightarrow 34 (III); \rightarrow I_2 \text{ М}; \rightarrow 34 (I);$ $\rightarrow 34 (II); \rightarrow I_1 \text{ Ш}; \leftarrow I_1; \odot \text{ Ш};$ $\downarrow 34; \odot \text{ Ш}; \rightarrow I_2 \text{ Ш}; \rightarrow I_2 \leftarrow;$ $\rightarrow 34 (III); \rightarrow I_2 \text{ М};$ $\rightarrow 34 (I); \text{ } \text{ М}$
С вращательными вокруг наклонной оси и осевым движением		$\uparrow \text{ Ш};$ $\downarrow 34 (90^\circ); \rightarrow I_2 \text{ Ш}; \leftarrow I_1; \rightarrow I_2 \text{ М};$ $\uparrow 34; \text{ } 34 (180^\circ);$ $\uparrow 34; \rightarrow I_2 \text{ Ш}; \rightarrow I_2; \leftarrow I_1 \text{ М};$ $\uparrow 34; \text{ } 34 (90^\circ); \text{ } \text{ М};$ $\downarrow 34;$ $\downarrow \text{ Ш}$
С вращательными и осевым движениями совместно с двухпозиционной револьверной головкой		$\rightarrow \text{ РГ}; \text{ } 34 (90^\circ);$ $\odot 34; \rightarrow I_2 \text{ Ш}; \leftarrow I_2; \rightarrow I_2 \text{ М};$ $\rightarrow \text{ РГ}; \odot 34; \text{ } 34 (180^\circ); \rightarrow \text{ РГ}; \odot 34;$ $\rightarrow I_1 \text{ М}; \rightarrow I_2 \text{ Ш}; \rightarrow I_2; \leftarrow \text{ РГ}; \odot 34;$ $\downarrow \text{ РГ} (180^\circ); \text{ } 34 (90^\circ); \text{ } \text{ М}.$
<i>Многозахватный</i>		
С радиальными движениями и неподвижным магазином		$\downarrow 34 (II); \rightarrow I_1 \text{ Ш}; \leftarrow I_1 \rightarrow;$ $\odot \text{ Ш};$ $\uparrow 34 (I); \downarrow 34 (II);$ $\odot \text{ Ш};$ $\rightarrow I_2 \text{ Ш}; \rightarrow I_2 \leftarrow; \uparrow 34 (I)$

Тип автооператора	Схема механизма	Цикл работы механизма
С дополнительным захватным устройством с качественным движением		<p> $\rightarrow 3У (90^\circ)$; $\odot 3У \rightarrow И_1 Ш \leftarrow И_1 \rightarrow И_1 3У_1$; $\odot 3У$; $\rightarrow 3У/180$ $\odot 3У \rightarrow И_1 Ш \leftarrow И_1 \rightarrow И_1 3У_1$; $\odot 3У$; $\rightarrow 3У/90$ $\odot 3У \rightarrow 3У$; $\odot 3У \rightarrow И_1 М$; $\odot 3У$; $\rightarrow М$; $\odot 3У$; $\rightarrow И_1 М$; $\odot 3У$; $\rightarrow 3У_1$; $\odot 3У_1$ </p>
С дополнительным захватным устройством с осевым и радиальным движениями		
С дополнительным захватным устройством с радиальным движением		
С дополнительным захватным устройством с вращательным и осевым движениями и контователем с качательным движением		

Револьверные головки широко используются в токарных станках с ЧПУ (в первую очередь для патронных работ).

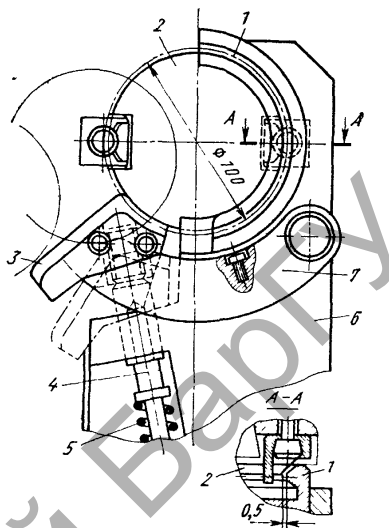
6.5.2 Конструирование и расчет инструментального магазина и автооператора для токарных и фрезерно-сверлильно-расточных многоцелевых станков

Важным узлом инструментального автооператора является захватное устройство, удерживающее инструмент за счет силы трения (рис. 6.13, 6.14).



- 1 — втулка; 2 — оси серги; 3 — рычаги;
 4 — сменные зажимные губки;
 5 — инструментальная оправка;
 6 — ось; 7 — корпус; 8 — пружина;
 9 — шпонка торцовая

Рисунок 6.13 — Захватное устройство клещевого типа



- 1 — скоба; 2 — оправка; 3 — фиксатор;
 4 — губки схвата; 5 — пружины;
 6 — рука автооператора; 7 — рычаг

Рисунок 6.14 — Захватное устройство типа охватывающей скобы с фиксирующим устройством

Ускорение ограничивается максимальным вращающим моментом двигателя $M_{д\max}$, статическим моментом нагрузки M'_c , суммарным моментом инерции J'_E двигателя механизма, приведенными к валу двигателя с учетом общего коэффициента передачи k_{Π} :

$$M'_c = k_{\Pi} F_C,$$

$$J'_E = J_{д} + k_{\Pi}^2 m,$$

где F_C — сила сопротивления движению исполнительного органа;
 m — масса исполнительного органа;
 $J_{д}$ — момент инерции двигателя;

k_{Π} — общий коэффициент передачи механизма с поступательным движением, который рассчитывается по формуле

$$k_{\Pi} = \frac{v}{w_y} = i_P i_M,$$

где $i_P i_M$ — соответственно передаточное отношение редуктора и шаг (ход) механизма преобразования движений;

w_y — угловая скорость двигателя;

v — скорость исполнительного органа.

В современных многооперационных станках используются дисковые, барабанные и цепные инструментальные магазины (рис. 6.15).

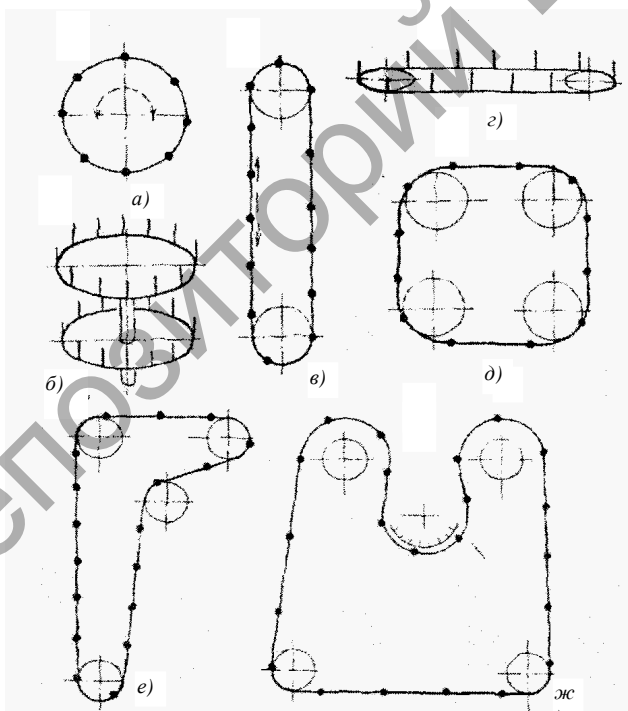


Рисунок 6.15 — Конструкции инструментальных магазинов

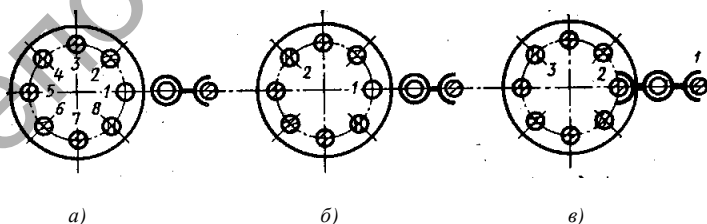
Дисковые (рис. 6.15, *а*) служат для размещения сравнительно небольшого числа инструментов (обычно не более 30). Барабанные отличаются от дисковых способом размещения инструментов, конструктивным исполнением (рис. 6.15, *б*). В цепных магазинах можно установить до 60...100 инструментов и более. Они бывают вертикальными (рис. 6.15, *в*), горизонтальными (рис. 6.15, *г*), наклонными, прямоугольными, треугольными, квадратными (рис. 6.15, *д*) и более сложной формы (рис. 6.15, *ж*)[17].

Выбор типа магазина зависит от назначения и компоновки станка. Наибольшее распространение получили дисковые и барабанные магазины, содержащие до 30 инструментов. Этого количества достаточно для обработки около 80% типовых корпусных деталей средних размеров.

6.5.3 Обеспечение кодирования, поиск инструмента и передачи информации в инструментальных системах. Проектирование механизмов зажима инструментов [12]

Кодирование (опознавание, идентификация) режущих инструментов при их автоматической смене возможна с (рис. 6.16):

- 1) фиксированной программой;
- 2) фиксированными местами для каждого инструмента;
- 3) индивидуальным кодом у каждого инструмента.



а — с фиксированной программой; *б* — с фиксированными местами для каждого инструмента; *в* — с индивидуальным кодом у каждого инструмента; 1—8 — позиции инструмента

Рисунок 6.16 — Схемы кодирования инструментов в магазине

Схема, представленная на рисунке 6.16, а, предусматривает последовательное использование инструмента.

Схема, представленная на рисунке 6.16, б, предусматривает, что за каждым инструментом закреплены соответствующие вполне определенные места в магазине. Недостатком данной схемы является невозможность совмещения удаления использованного инструмента и установки нового со временем рабочей операции на станке.

Схема, представленная на рисунке 6.16, в, предусматривает, что очередной инструмент вынимается из магазина, а на освободившееся место ставится использованный инструмент. Для нахождения нужного инструмента, занимающего любое место в магазине, существует код (канавки, прорези и т. п.). Все подготовительные операции, необходимые для смены инструмента, совмещаются со временем обработки. Только замена инструмента манипулятором связана с потерей производительности.

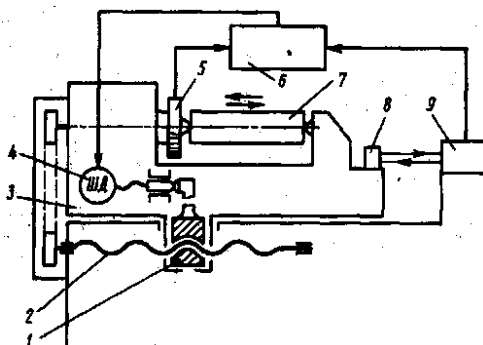
Г л а в а 7 ПОВТОРНО-ФИКСИРУЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ

7.1 Механизмы автоматического зажима подвижных рабочих органов [10]

Механизмы для обеспечения точности положения и движения рабочих органов станков включают механизмы коррекции, зажима столов и траверс, точной фиксации и др. Основная идея этих устройств заключается в том, что они измеряют ошибки данного механизма перемещения, а после этого специальный механизм коррекции исправляет их.

На рисунке 7.1 изображен механизм коррекции с использованием лазерного устройства для оценки точности перемещения стола прецизионного станка.

Столы, траверсы, шпиндельные бабки, неподвижные в процессе обработки, закрепляются на направляющих тел их перемещения при помощи специальных механизмов зажима подвижных элементов



- 1 — гайка; 2 — ходовой винт; 3 — стол перемещаемый;
 4 — шаговый электродвигатель; 5 — измерительный преобразователь; 6 — блок командный;
 7 — обрабатываемая деталь; 8 — отражатель определения положения стола; 9 — лазерный интерферометр

Рисунок 7.1 — Схема механизма коррекции интерферометром

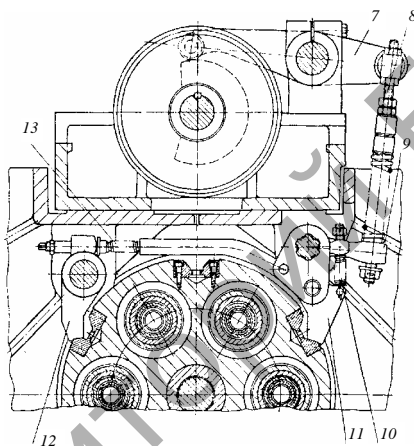
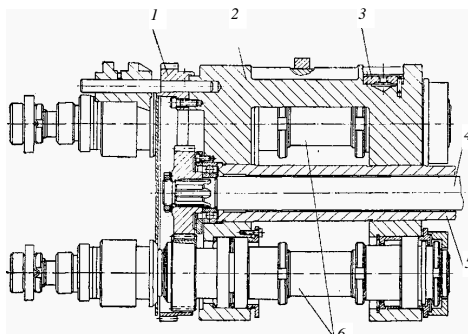
станка. В станках с программным включением механизмов зажимы происходят автоматически и обеспечивают точное положение рабочего органа.

7.2 Конструирование и расчет шпиндельных блоков, каруселей, револьверных головок, поворотных столов

Шпиндельные блоки применяются в многошпиндельных горизонтальных и вертикальных токарных полуавтоматах и автоматах. Они изготавливаются из модифицированного чугуна, что повышает их износостойкость.

Поворот шпиндельного блока осуществляется мальтийским механизмом, связанным через промежуточную зубчатую передачу с шестерней 1 (рис. 7.2).

Многопозиционные поворотные столы предназначены для установки приспособлений агрегатных станков. Обрабатываемая



- 1 — шестерня; 2 — блок шпindelный;
 3 — фиксаторные гнезда; 4 — вал центральный;
 5 — труба; 6 — опоры шпindelей;
 7, 9 — рычаги; 8, 10, 13 — тяги;
 11, 12 — фиксаторы

Рисунок 7.2 — Многошпindelный шпindelный блок

деталь закрепляется в приспособлении. При повороте стол получает движение от периодически включаемого электродвигателя через червячную и зубчатую передачу с внутренним зацеплением.

На рисунке 7.2 показан пример конструкции многошпindelного шпindelного блока, используемых в основном в горизонтальных токарных многошпindelных полуавтоматах.

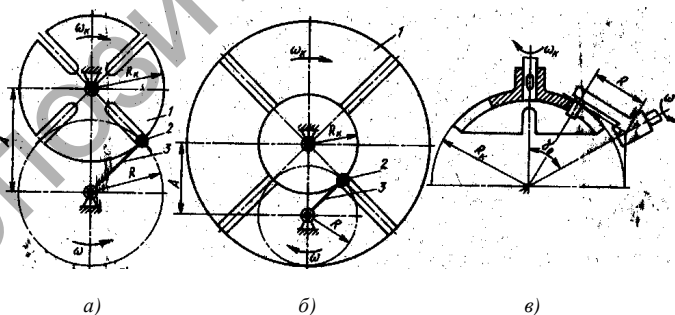
Револьверными головками оснащаются в основном токарно-револьверные, а также другие станки. Револьверные головки также бывают с вращающимися шпинделями, по конструктивному исполнению — с вертикальной, горизонтальной и наклонной осью вращения [6].

7.3 Конструирование и расчет механизмов поворота, фиксации и зажима, пинолей и головок [10]

Механизмы поворота используют для поворота револьверных головок, шпиндельных блоков, каруселей и т. д. Они могут быть механическими, гидравлическими, пневматическими, а также с элементами ЧПУ.

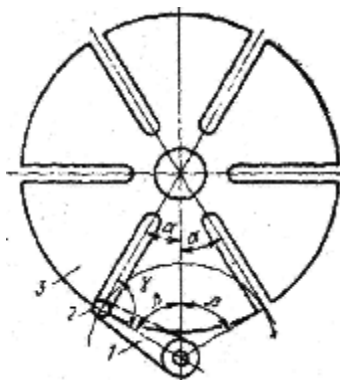
Наибольшее распространение среди поворотных механизмов получили мальтийские механизмы, которые используют для периодического поворота шпиндельных блоков, револьверных головок и др.

Мальтийские механизмы бывают с внешним зацеплением (рис. 7.3, а), внутренним зацеплением (рис. 7.3, б) и сферическим зацеплением (рис. 7.3, в). Для обеспечения плавной работы механизма угловая скорость мальтийского креста 1 должна быть равна нулю в момент входа пальца 2 кривошипа 3 в паз креста и в момент выхода из него (рис. 7.4).



R_k — радиус мальтийского креста; R — радиус кривошипа;
 A — межосевое расстояние; w — угловая скорость кривошипа;
 w_k — угловая скорость мальтийского креста;
 γ_0 — угол скрещивания осей креста и крестовины

Рисунок 7.3 — Типы мальтийских механизмов



1 — кривошип; 2 — цевка; 3 — диск

Рисунок 7.4 — Расчетная схема мальтийского механизма

Условия безударной работы требуют, чтобы скорость цевки при заходе ее в паз совпала с направлением последнего. Это возможно при условии, если угол

$$\gamma = \frac{\pi}{2},$$

а угол поворота диска

$$2\alpha = \frac{2\pi}{z},$$

где z — число пазов.

Угол рабочего поворота кривошипа рассчитывается по формуле

$$2\beta = \pi - 2\alpha = \pi - \frac{2\pi}{z} = \frac{\pi(z-2)}{z}. \quad (7.1)$$

При этом частота вращения кривошипа определяется по формуле

$$n = \frac{\beta}{\pi T}, \text{ сек}^{-1}, \quad (7.2)$$

где T — время поворота диска на угол 2β , с, определяемое по формуле

$$T = \frac{2\beta}{2\pi} \cdot \frac{1}{n}. \quad (7.3)$$

Подставляя в формулу (7.2) значение β из формулы (7.1) получим следующую формулу для определения частоты вращения кривошипа в сек⁻¹.

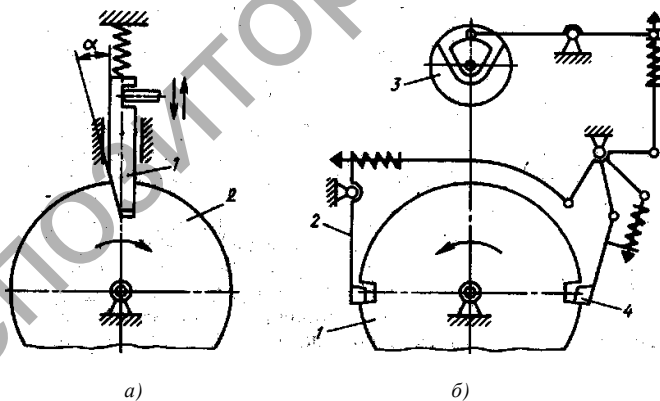
$$n = \frac{z-2}{2zT}.$$

Из этой формулы можно определить число пазов, обычно $z = 4-6$.

7.4 Обеспечение точности фиксации поворотных устройств станка [10]

Для обеспечения точного положения поворотных устройств после поворота с удержанием их от смещения под действием нагрузок, возникающих при обработке, применяют механизмы фиксации (рис. 7.5):

- а) одинарной;
- б) двойной.



- а: 1 — фиксатор прямолинейного действия;
2 — поворачиваемый элемент;
- б: 1 — шпиндельный блок; 2 — головка фиксирующего рычага;
3 — кулачок; 4 — запирающий рычаг

Рисунок 7.5 — Схемы механизмов фиксации

7.5 Устройства для отвода стружки [16]

Широкое внедрение в производство высокопроизводительных металлорежущих станков и автоматических линий требует механизации и автоматизации операций по уборке стружки и ее переработки. В настоящее время отход металла в стружку составляет 20—50% и более. Стружка от станков обычно удаляется вручную вспомогательными рабочими, количество которых составляют в среднем 6% от основной массы. Кроме того, стружка загромождает проходы, оборудование и может привести к остановке последнего.

Наиболее простым решением этой задачи является транспортировка сыпучей стружки. Однако весьма неудобно в транспортировке выонковая и сливная стружка, которая получается при обработке стали. Стружку в процессе обработки дробят стружколомами, применяют прерывистое или вибрационное резание.

Задача удаления стружки заключается, прежде всего, в отводе ее непосредственно из зоны обработки.

Стружку, удаленную из отдельных станков, необходимо собирать и удалять из цеха для последующей очистки, сортировки и переработки.

Существуют две системы удаления стружки из механических цехов:

- а) автоматизированная (стружка из отдельных станков подается транспортерами, расположенными под полом);
- б) механизированная (шнековый транспортер станка и далее транспортировка в контейнерах, ящиках и тележках).

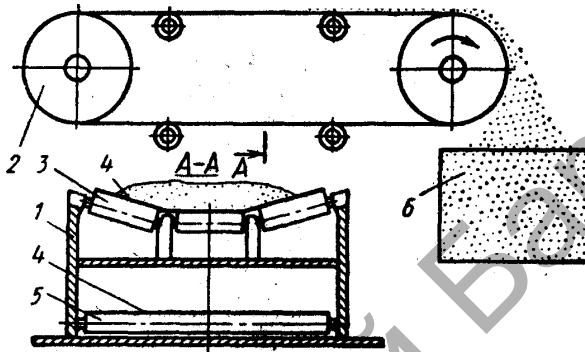
Для удаления стружки из труднодоступных мест применяется сжатый воздух, с помощью которого стружка выдувается в стружкоприемник.

На шлифовальных станках для удаления абразивной пыли устанавливают пылеотсасывающие устройства, состоящие из вентилятора, системы трубопроводов и всасывающего патрубка, находящегося в зоне резания.

Механизация и автоматизация транспортировки и переработки стружки состоит из следующих этапов: удаления стружки от группы станков и из цехов, очистки и переработки.

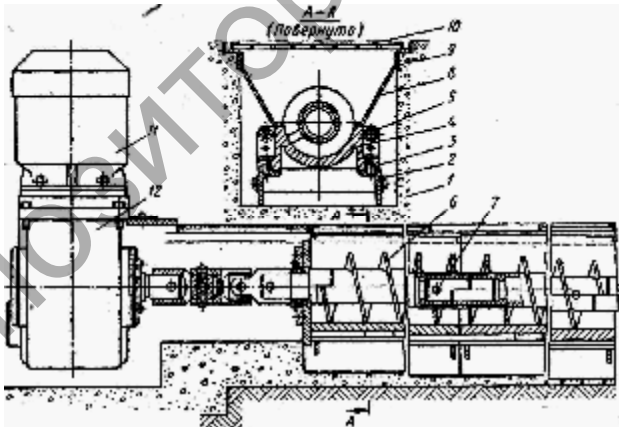
Для удаления стружки от групп станков и из цехов применяются ленточные транспортеры (рис. 7.6), скребковые, ершовые, шнековые (рис. 7.7), вибрационные (рис. 7.8) и импульсные транспортеры, а также гидроконвейеры и другие устройства [16].

Ленточные транспортеры применяется при углах транспортирования до 25° . Хорошо перемещают сухую стружку из чугуна, бронзы и алюминия, а также стальную ломаную и мелковьюнковую стружку.



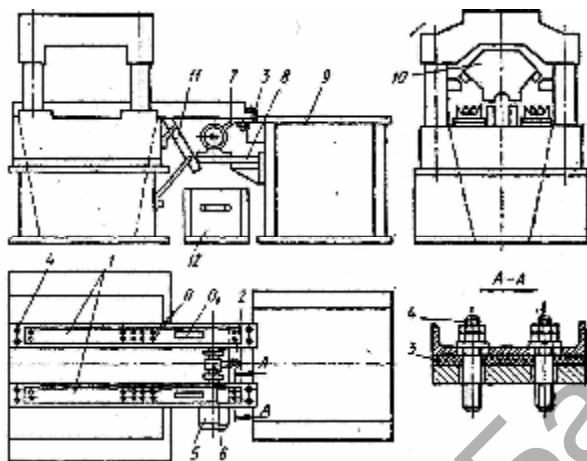
1 — стойки; 2 — барабаны; 3, 5 — ролики; 4 — лента; 6 — контейнер

Рисунок 7.6 — Ленточный транспортер



1 — яма бетонированная; 2, 9 — уголки; 3, 5 — болты; 4 — корыта чугунные; 6 — спираль винтовая; 7 — штифты; 8 — шитки бортовые;
10 — решетки; 11 — электродвигатель; 12 — редуктор

Рисунок 7.7 — Шнековые транспортеры
до 100 м длины транспортировки



1 — лотки; 2 — планка; 3 — подушки резиновые; 4 — болты;
 5 — электродвигатель; 6 — вибратор; 7 — тяга; 8 — плита;
 9 — станина; 10 — блоки передвигные; 11 — склизы;
 12 — ящик

Рисунок 7.8 — Вибрационный транспортер

Изображенные на рисунках 7.6—7.9 примеры конструкций механизмов для удаления стружки широко используются на заводах с серийным и массовым типом производства.

7.6 Системы уравнивания.

Проектирование механических, гидравлических, пневматических систем уравнивания [6]

Уравнивание имеет своей целью уменьшение усилий, необходимых для перемещения и повышения точности перемещений. Оно осуществляется с помощью грузов, пружин и гидравлических цилиндров.

Уравнивающий груз 1 (рис.7.9, а) соединяется с подвижным рабочим органом тросом или цепью. Груз обычно перемещается по стойке. В ряде случаев применяются предохранительные устройства, исключающие падение груза при обрыве гибкой связи

(рис. 7.9, б). При обрыве гибкой связи рычаг 1 поворачивается под действием пружины 3 и западает во впадину зубьев рейки.

Для уравнивания гильзы, вертикальных ползунов и т. п. значительное применение находят пружинные механизмы (рис. 7.9, в). Один конец плоской спиральной пружины 3 связан с неподвижным валиком 1, а второй — с поворотным корпусом 2, к которому прикреплен конец гибкой связи 4. Натяжение пружины можно регулировать, поворачивая валик 1 с помощью червячной передачи.

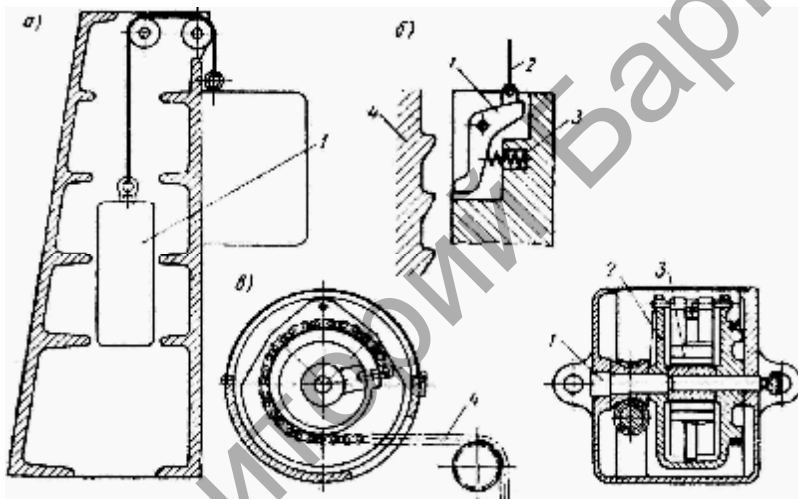


Рисунок 7.9 — Уравнивание вертикально перемещающихся рабочих органов

Масса противовеса рассчитывается по формуле

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{дв.ч}} + (100 \dots 200)}{2},$$

где $P_{\text{дв.ч}}$ — масса движущихся частей.

Вместо уравнивающего груза можно использовать гидро- или пневмоцилиндры.

Г л а в а 8
**ТЕХНИКА ПРИМЕНЕНИЯ
СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
В МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ [16]**

Для снижения тепловой напряженности процесса резания применяются смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС).

Наиболее часто применяют СОТС в виде жидкости-эмульсии и масла, с добавками твердых смазывающих веществ (графит, парафин, сернистый молибден и др.).

Существуют следующие основные требования к эксплуатационным свойствам СОТС в зависимости от типа и условий их применения:

а) технологические свойства (стойкость режущего инструмента, производительность процесса обработки, качество поверхности обрабатываемой детали и др.) должны соответствовать требованиям технологического процесса;

б) экономическая эффективность применения, в том числе взамен ранее применяемых СОТС;

в) соответствие современным гигиеническим требованиям;

г) отсутствие разрушающего действия на оборудование и обрабатываемые детали;

д) защитное антикоррозионное действие;

е) СОТС должны обладать хорошей маслянистостью и вымывающей способностью.

**8.1 Конструирование устройств подачи жидких,
твердых и газообразных смазочно-охлаждающих
технологических средств в рабочую зону станка
при лезвийной и абразивной обработке [16]**

Система для подачи смазочно-охлаждающих технологических средств включает следующие элементы:

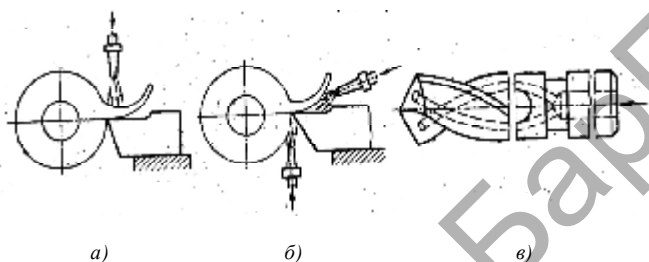
1) насос для подачи жидкости под давлением;

2) трубопроводы и арматуру для подачи жидкости (форма накопника, который формирует и направляет струю жидкости, имеет существенное значение);

3) фильтры, которые применяются для очистки жидкости от стружки, грязи и пыли;

4) резервуары для СОТС, имеющие отстойники.

Примеры методов подвода охлаждающей жидкости в зону резания приведены на рисунке 8.1.



a — полив свободной струей (сильное разбрызгивание — не эффективно);
б — подача с направлением струи в зону резания;
в — подача под давлением через инструмент

Рисунок 8.1 — Метод подвода охлаждающей жидкости в зону резания

Весьма эффективным является способ охлаждения жидкостью, распыленной сжатым воздухом.

Система охлаждения рассчитывается по следующей формуле:

$$Q\gamma c Dtk = \frac{75 \cdot 60N}{427},$$

где Q — производительность насоса, м³/с;

γ — плотность СОТС в кг/м³; для минеральных масел $\gamma = 0,88 \cdot 10^4$;

c — удельная теплоемкость жидкости, Дж/кг°С ($c = 45$);

N — мощность, затрачиваемая на резание, Вт;

$k \leq 0,5$ — коэффициент, учитывающий эффективность охлаждения;

Δt — допустимое повышение температуры циркулирующей жидкости, °С ($\Delta t = 10 \dots 15^\circ\text{C}$).

8.2 Обеспечение очистки, стабилизации цен, качества, обеззараживания и утилизации, регенерации и рекуперации смазочно-охлаждающих технологических средств, очистки сточных вод [16]

Для промывки металлорежущего оборудования, в частности, крупных централизованных фильтрующих систем подачи СОТС разработаны специальные моющее-дезинфицирующие средства (МДС), дезинфицирующие средства (бактериальные примеси Амбизоль-1, Вазин и др.).

Периодичность очистки и дезинфекции систем приготовления и подачи СОТС зависит от объема системы, типа и свойств СОТС, условий эксплуатации. Согласно ГОСТ 12.3.025-80 очистку емкостей для приготовления СОТС и систем подачи следует проводить один раз в шесть месяцев для масляных СОТС и один раз в три месяца для водных.

В процессе эксплуатации в той или иной мере ухудшаются технологические показатели СОТС, появляется дым и туман, меняется внешний вид, ухудшаются антикоррозионные свойства и т. п., поэтому осуществляют контроль и проводят корректировку в соответствии с ГОСТ 12.3.025-80 для СОТС на масляной основе не реже одного раза в неделю, а для синтетических и полусинтетических жидкостей — не реже одного раза в две недели.

Резервами повышения эффективности и экологии СОТС является также их активация (ультразвуковая, электрическая, магнитная, термическая, ионизирующим излучением и др.) и рекуперация, заключающаяся в извлечении СОТС из стружек (центрифугированием, отстоем) и аэрозолей воздуха.

Отработанные масляные и водосмешиваемые СОТС можно использовать в качестве компонентов консервационных средств, смазок литейных форм, форм в производстве железобетона и кирпича, мастик, моющих средств.

Отработанные СОТС после извлечения из них вредных веществ на очистных сооружениях предприятия сбрасывают в виде сточных вод в водоемы или на поля фильтрации.

Г л а в а 9
**ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
АВТОМАТИЧЕСКИХ СТАНКОВ И ЛИНИЙ [5]**

Цель создания автоматов и автоматических линий — освободить людей от однообразного, тяжелого и утомительного труда. При этом человек производит только наладку и содержание станков в исправном состоянии.

Станок, который самостоятельно производит все рабочие и вспомогательные движения, называется **автоматом**. Станки-автоматы работают циклически и не нуждаются во вмешательстве человека. За один цикл обрабатывается одна или несколько деталей.

Время цикла автомата или автоматической линии рассчитывается по формуле

$$t_{ц} = \sum_{i=1}^k t_{pi} + \sum_{i=1}^n t_{bi} = t_p + t_b,$$

где t_p — время, затрачиваемое на все несовмещенные рабочие движения при выполнении цикла обработки детали, которое рассчитывается по формуле

$$t_p = \sum_{i=1}^k t_{pi};$$

t_b — время, затрачиваемое на все несовмещенные вспомогательные движения цикла, определяемое по формуле

$$t_b = \sum_{i=1}^n t_{bi}.$$

Станок, восполняющий цикл самостоятельно, автоматически, но после каждого цикла требующий вмешательства рабочего, называется **полуавтоматом**.

Автоматическая линия представляет комплекс основного и вспомогательного оборудования, с помощью которого в определенной технологической последовательности и с принудительным ритмом обрабатывается одна или несколько деталей.

Основным оборудованием являются металлорежущие станки, агрегаты, осуществляющие сборку, контроль, термообработку и другие операции.

К вспомогательному оборудованию относятся межстаночный транспорт, накопители деталей перед группой станков, транспортеры для отвода стружки, станция смазки, система подачи СОТС и т. д. Все операции технологического процесса выполняются автоматически без участия человека [1, с. 41].

После получения от заказчика заявки или технического задания уточняется программа, разрабатывается чертеж заготовки и готового изделия. Программа определяет тип производства (массовое, серийное и т. д.). Тип производства существенным образом влияет на выбор типа автоматических линий, оборудования. В массовом производстве создают автоматические линии только для обработки одной детали.

Серийный тип производства определяет необходимость создания перестраиваемых, переналаживаемых или программных автоматических линий для осуществления производства однотипных деталей.

Варианты технологических процессов разрабатываются исходя из точности заготовки.

При разработке технологического процесса стремятся осуществить возможно более полную обработку за один проход. Разделение черновой и чистовой обработки является необходимым условием.

В автоматических линиях рекомендуется снижать режимы резания на 10...15% по сравнению с нормативными и величину допустимого износа (критерий затупления) — примерно в 1,3 раза по сравнению с допустимыми нормами для универсального оборудования.

При разработке технологического процесса, кроме определения наименования и типа инструмента, определяют материал режущей части и число инструментов.

Такт автоматической линии (мин / шт) определяется по формуле

$$T = \frac{60\eta}{Q},$$

где η — коэффициент использования автоматической линии ($\eta = 0,65...0,9$);

Q — требуемая часовая производительность, шт.

После разработки технологического процесса, выбора оборудования, определения режимов и других условий осуществления технологического процесса выполняются различные компоновки оборудования, осуществляя разные связи и строя поточные автоматизированные и автоматические линии с гибкой связью. Выбор типа линии по данному технологическому процессу зависит, кроме программы и типа выбранного оборудования, от возможности связать оборудование транспортными средствами, связями в единое целое и выбора этих средств.

Компоновка автоматической линии из автоматов и полуавтоматов обычно сводится к дооборудованию станков автоопера-торами, манипуляторами, различными загрузочными устройствами и к созданию транспортной системы.

Автоматические линии с жесткой связью, отличающиеся наименьшей стоимостью, обладают и минимальной надежностью, так как любая неисправность вызывает остановку всей автоматической линии. Автоматическая линия с гибкой связью, несмотря на значительную стоимость, имеют большую перспективу.

Грамотное решение транспортных средств, умение найти ту точку в линии, где наиболее рационально используются накопители, обеспечение наибольшей типизации, простоты и надежности транспорта являются постоянными заботами разработчиков.

Повышение надежности автоматической линии и системы машин достигается повышением надежности самих машин, составляющих линию. Для этого линию разбивают на участки, чаще всего группы участков совпадают с границами операций, и на стыках создают накопления. В автоматической линии с гибкой связью также пересматривается создание небольших накопителей, которые повышают стоимость линии и вводят свой дополнительный коэффициент надежности.

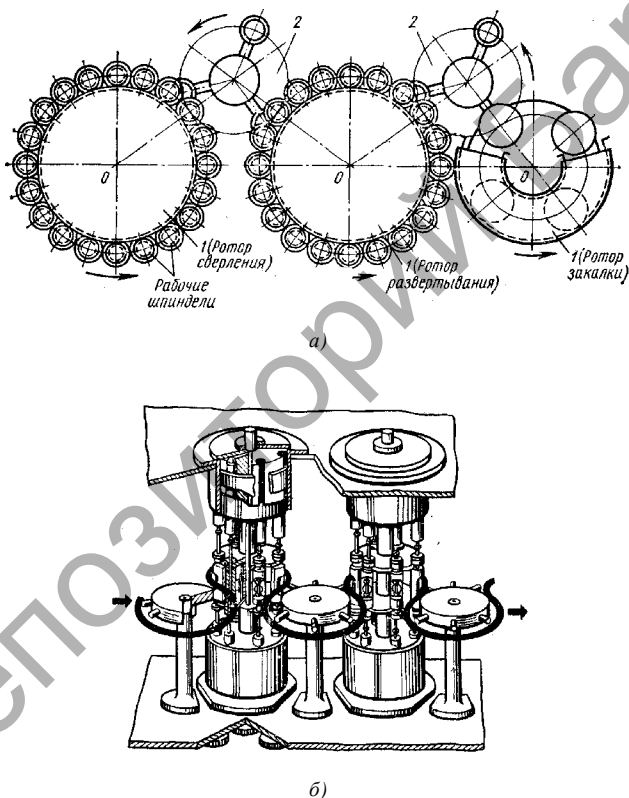
Определяя компоновку автоматической линии, разработчик исходит из представленной заказчиком площади, но при этом главным фактором служат соображения удобства эксплуатации и работы на линии, удобства организации производства и ремонта. Разработчик должен также руководствоваться санитарными нормами, регламентирующими расположение оборудования. Также должны быть решены внешние связи: подвод энергии, отвод отходов, необходимость обеспечения верхней или внешней разводки, условия монтажа и ремонта.

Процесс проектирования состоит из следующих этапов:

- 1) технического задания;
- 2) технического предложения;
- 3) технического проекта;
- 4) рабочего проекта.

На рисунке 9.1 изображены схема автоматической роторной линии и группа станков автоматической роторной линии.

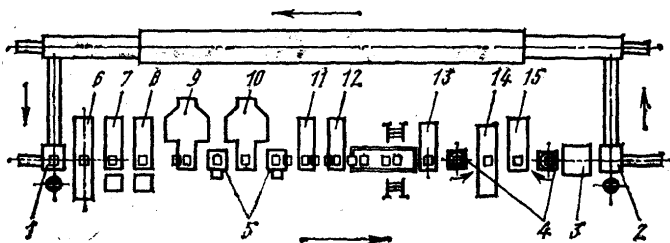
На рисунке 9.2 показана схема переналаживаемой автоматической линии для обработки корпуса редуктора.



а — схема автоматической роторной линии: 1 — роторы закалки, развертывания, сверления; 2 — транспортный ротор;

б — группа станков автоматической роторной линии

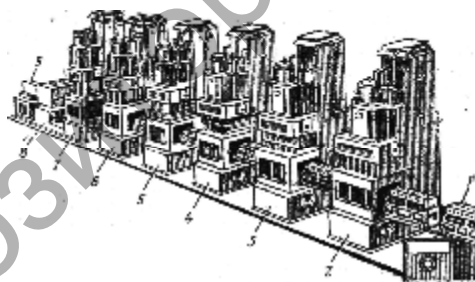
Рисунок 9.1 — Компоновка роторной линии



- 1, 2 — загрузочная и разгрузочная позиции; 3 — опрокидыватель;
 4 — поворотные столы; 5 — контрольные позиции; 6 — двухсторонний
 расточной станок; 7, 8 — односторонние расточные станки;
 9, 10 — многшпindleльные сверлильные станки со сменными головками;
 11, 12, 13 — расточные станки для финишной обработки;
 расточные станки с наклонными головками

Рисунок 9.2 — Схема переналаживаемой автоматической линии для обработки корпуса редуктора

На рисунке 9.3 показан участок автоматической линии, оснащенный агрегатными станками для обработки отверстий в блоке автомобильного двигателя. В позиции 1 производится загрузка заготовок;



- 1 — позиция загрузки; 2 — станок для растачивания
 гнезда под впускные и выпускные клапаны;
 3, 4 — поочередное зенкерование фаски и площадки
 под седла клапанов; 5—8 — сверление,
 зенкерование и развертывание 12 — отверстий
 под втулки клапанов, нарезание конической резьбы
 в отверстиях под маслопровод и под пробки;
 9 — позиция разгрузки

Рисунок 9.3 — Участок автоматической линии для обработки отверстий в блоке автомобильного двигателя [16]

на станке 2 растачиваются гнезда под впускные и выпускные клапаны; на станках 3 и 4 поочередно зенкеруются фаски и площадки под седла клапанов; на станках 5—8 сверлятся, зенкеруются 12 отверстий под втулки клапанов, а также нарезается коническая резьба в отверстиях под маслопровод и под пробки; на позиции 9 производится снятие блоков цилиндров.

Г л а в а 10

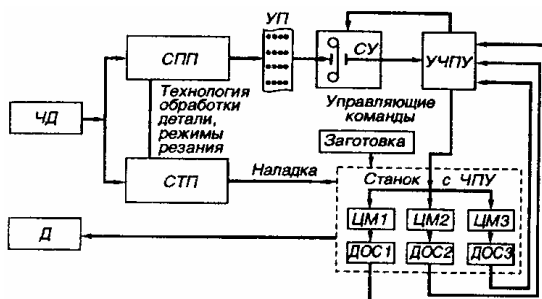
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ [8; 18]

Металлорежущие станки с программным управлением представляют собой разнообразную и наиболее совершенную группу машин, в которых широко используются средства автоматики и электроники, электрические, механические и другие устройства. Широкое распространение получили металлорежущие станки с ЧПУ с оперативной системой программного управления (ПУ). Она позволяет рабочему вести диалог со встроенным управляющим устройством (многопроцессорной мини-ЭВМ). Оперативная система избавляет от необходимости обращаться к услугам специалистов вычислительных центров для составления программы. Программа вводится прямо на станке с пульта управления.

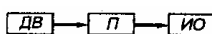
Отработанная программа хранится в оперативной памяти мини-ЭВМ или переносится в кассету на хранение.

Числовое программное управление обеспечивает управление движением рабочих органов станка и скоростью их перемещения при формообразовании, а также последовательностью цикла обработки, режимами резания, различными вспомогательными функциями в автоматическом режиме, что позволяет широко внедрять многостаночное обслуживание, тем самым значительно повышая производительность труда [18].

Основные элементы комплекса СЧПУ представлены на рисунке 10.1 (СЧПУ — совокупность специализированных устройств, необходимых для реализации ЧПУ станком, предназначенная для выдачи управляющих воздействий исполнительным органам станка в соответствии с управляющей программой (УП)).



а)



б)

ЧД — чертеж детали; СПП — система подготовки программы; ЧПУ — станок с ЧПУ; СТП — система технологической подготовки; УП — управляющая программа; СУ — считывающее устройство; УЧПУ — система, выдающая команды на целевые (ЦМ) механизмы станка; ДОС — на основе информации (фактическое положение, скорость перемещения исполнительных узлов, фактический размер обрабатываемой поверхности, тепловые и силовые параметры технологической системы и др.) контролируют величину перемещения ЦМ; ДВ — двигатель; П — передача; ИО — исполнительный орган (стол, салазки, суппорт, шпиндель и т. д.)

Рисунок 10.1 — Структурная схема СЧПУ (а) и целевого механизма (б)

Станки с ЧПУ должны обеспечивать высокую производительность, точность перемещений, задаваемых программой, и сохранять эту точность при длительной их эксплуатации.

Конструкция станков с ЧПУ должна обеспечивать совмещение различных видов обработки (точение-фрезерование, фрезерование-шлифование, обработка резанием и контроль и т. д.), удобство загрузки заготовок, выгрузки деталей, что важно при применении роботов, автоматического и дистанционного управление сменой инструмента.

Повышение точности обработки достигается высокой точностью и жесткостью станка, превышающей жесткость обычного станка того же назначения, и сокращением длины кинематических

цепей путем применения автономных двигателей на каждое движение, а механические передачи используют в минимально возможном количестве. Повышению точности также способствует устранение зазоров в передаточных механизмах приводов подач.

Температурную деформацию устраняют путем предварительного подогрева станка и гидросистемы, а также вводят коррекцию в приводы подач от сигналов датчиков температур.

Базовые детали (станины и т. д.) делают более жесткими за счет введения дополнительных ребер жесткости. Повышенную жесткость имеют и подвижные несущие элементы (суппорты, столы и салазки). Базовые детали изготавливают литыми и сварными. Такие детали также выполняют из политурного бетона или синтетического гранита, что еще больше повышает жесткость и виброустойчивость. Для увеличения износостойкости и малой величины трения, что позволяет снизить мощность следящего привода, увеличить точность перемещений, в следящей системе в станках применяют направляющие качения и комбинированные направляющие, а также гидростатические [8].

10.1 Приводы главного движения [8]

Чаще всего в станках с ЧПУ применяют бесступенчатое регулирование асинхронных двигателей изменением частоты тока с двух- или трехступенчатыми коробками скоростей.

Шпиндели станков с ЧПУ делают точными, жесткими, с повышенной износостойкостью шеек, посадочных и базирующих поверхностей.

Повышение жесткости шпиндельного механизма достигается увеличением диаметра шпинделя и установкой в опорах более жестких подшипников (роликподшипников вместо шарикоподшипников).

При применении подшипников качения обычно устанавливают подшипники качения с предварительным натягом.

Гидродинамические подшипники используют в шлифовальных и других станках.

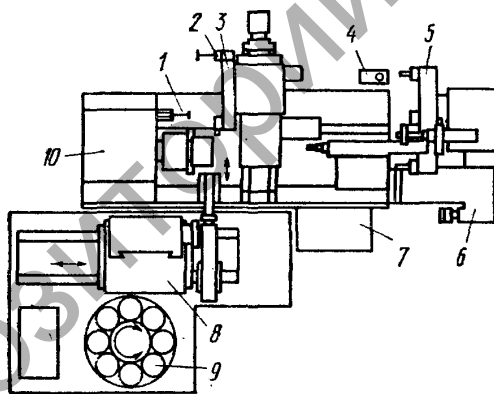
Гидростатические шпиндельные подшипники широко используют в опорах прецизионных станков, так как они обеспечивают высокую точность вращения.

10.2 Проектирование гибких производственных систем [8]

Гибкие (автоматически переналаживаемые) модули применяют в серийном производстве с установившейся номенклатурой обрабатываемых деталей. При этом используются промышленные роботы (ПР). Модуль может функционировать в автоматическом режиме 1—2 смены и более при соответствующих условиях, которые заключаются в подготовке партии заготовок для автоматической загрузки (заготовки проходят входной контроль), контроле и замене режущего инструмента, проверке и обслуживании оборудования, переналадке станка, пробной обработке заготовок.

На рисунке 10.2 изображена схема токарного автоматического переналаживаемого модуля.

На рисунке 10.3 изображена система накопления деталей.



- 1 — устройство для контроля состояния режущего инструмента; 2 — устройство для контроля точности обрабатываемой заготовки;
- 3 или 5 — УАСИ; 4 — система охлаждения;
- 6 — устройство для сбора стружки; 7 — устройство ЧПУ;
- 8 — ПР (промышленный робот);
- 9 — транспортно-накопительное оборудование;
- 10 — токарный станок с ЧПУ;

Рисунок 10.2 — Токарный автоматически переналаживаемый модуль

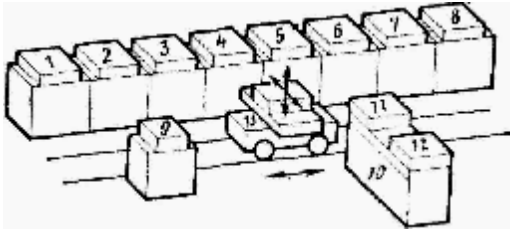


Рисунок 10.3 — Система накопления деталей

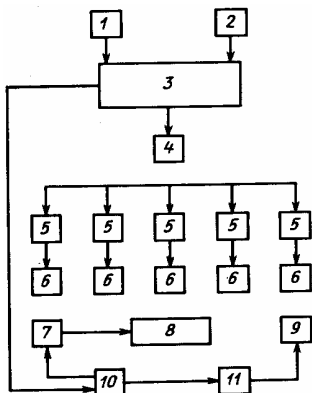
Станок, входящий в модуль, должен обладать надежностью работы всех механизмов.

Основой модуля для обработки заготовок корпусных деталей служат многоцелевые станки. В их состав входят накопители инструментов и заготовок, устройства их автоматической смены, дополнительные устройства для автоматической уборки стружки, измерения детали, подналадки и замера режущего инструмента, изменения режимов резания.

Гибкая производственная система (ГПС) — комплекс технологических средств, состоящих из 1-2 многоцелевых станков с ЧПУ или других металлорежущих станков с ЧПУ, оснащенных механизмами автоматической смены инструмента, автоматической смены заготовок и транспортирование их со склада до зоны обработки, например, при помощи роботизированных тележек. Гибкие производственные системы рентабельны при эксплуатации в 2—3 смены. Они оснащены современными системами ЧПУ, управляющими перемещениями механизмов станка, инструментом, транспортом, системами загрузки-выгрузки.

Гибкая производственная система является основой гибких автоматизированных производств (ГАП).

В автоматизированное производство АП-1(ГАП) для механической обработки корпусных деталей с габаритными размерами $500 \times 500 \times 500$ мм с номенклатурой обрабатываемых деталей 120...180 наименований в год входит пять станков с ЧПУ (ГПМ) с автоматической сменой инструмента для выполнения расточных, сверлильных и фрезерных работ, разметочной и контрольно-измерительной машин, автоматизированного склада изделий и заготовок



- 1 — устройство ввода;
 2 — устройство вывода;
 3 — ЭВМ; 4 — блок сопряжения;
 5 — микроспроцессоры; 6 — станки (ГПС); 7 — устройство локального управления складом заготовок и приспособлений; 8 — склад заготовок и приспособлений;
 9 — устройство управления складом инструмента;
 10 — пульт центрального диспетчера;
 11 — инструментальный склад

Рисунок 10.4 — Структурная схема гибкого автоматизированного производства АП-1(ГАП)

со штабелером, а также отделения подготовки приспособлений и инструмента. На рисунке 10.4 дана структурная схема автоматизированного производства АП-1(ГАП).

На участке предусмотрено применение малых ЭВМ на каждом станке, связанных с центральной ЭВМ. Это обусловлено необходимостью решать задачи по оперативному корректированию управляющих программ для обеспечения требуемого качества обработки сложных корпусных деталей.

Перемещение обрабатываемых деталей происходит на приспособлениях-спутниках. Спутник с закрепленной заготовкой подается на поворотный стол-робот и затем направляется на обработку. Автоматизированы базирование и закрепление спутника на станке, выполнение операций механической обработки со сменой инструмента и многосторонней обработки заготовок. Подача заготовок внутри склада программируется ЭВМ и осуществляется штабелером.

Контрольные устройства и предварительная разметка на специальной разметочной машине обеспечивают входной контроль заготовок. Обработанная деталь проверяется по основным параметрам на контрольно-измерительной машине с ЧПУ

Необходимый инструмент подбирают по комплектам, а затем в магазинах барабанного типа подают на станок и закрепляют на нем.

Система программного управления от центральной ЭВМ осуществляет подготовку, контроль и хранение управляющих программ, управление работой с оперативной корректировкой управляющих программ, диспетчеризацию работы конвейерно-складской системы и оперативное планирование производства.

10.3 Проектирование агрегатных станков [4]

Основным документом на проектирование агрегатного станка является техническое задание (ТЗ), которое обычно разрабатывается изготовителем станка. Основанием для его разработки является письмо-заявка заказчика. В состав ТЗ входит: чертеж обрабатываемой детали; основные технические характеристики будущего станка (производительность, габаритные размеры, тип системы управления); перечень нормативных документов и межгосударственных стандартов; вид смазочно-охлаждающих технологических средств. Выбираются базовые поверхности для базирования детали при обработке с учетом получения требуемой точности, компоновка станка осуществляется с учетом выбранных базовых поверхностей и требуемой производительности станка, которая определяется годовой программой выпуска.

Конструктивные особенности агрегатных станков и их компоновок имеют следующие разновидности:

1) стационарные станки, в которых деталь в процессе обработки передвижная (рис. 10.5, а). Они обеспечивают достаточно высокую точность обработки и взаимного расположения обрабатываемых поверхностей, но отличаются малой производительностью;

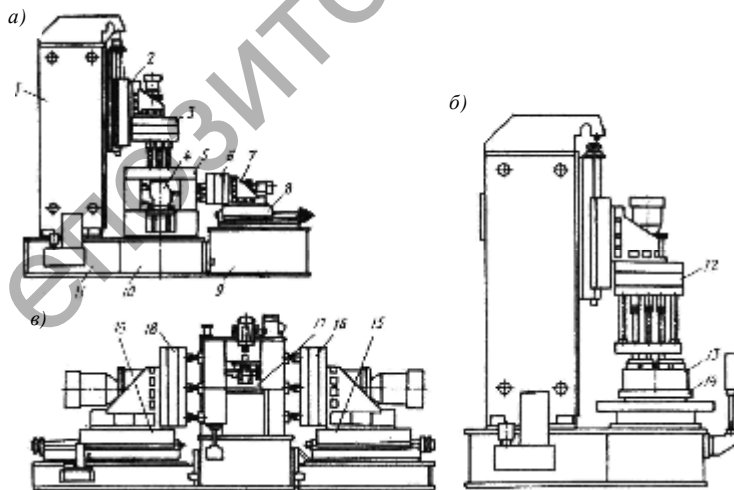


Рисунок 10.5 — Типовые компоновки агрегатных станков

2) станки с приспособлением на малом делительном столе (рис. 10.5, б), производительность которых повышается за счет совмещения времени загрузки с обработкой;

3) станки с приспособлением на поворотном делительном барабане. По сравнению со станками второго типа на нем можно произвести больший объем обработки (рис. 10.5, в);

4) станки с приспособлением на многопозиционном линейном передвижном столе (обработка осуществляется в основном на двух или трех позициях станка).

После выборки компоновки станка определяют расчетное время цикла

$$t = \frac{\Phi}{Q} k ,$$

где Φ — номинальный годовой фонд времени станка;

Q — заданная годовая программа выпуска детали;

k — коэффициент технического использования станка ($k = 0,85 \dots 0,9$ в зависимости от сложности станка).

Затем разрабатывают циклограмму станка. Слева перечисляют элементы цикла станка и его механизмы, на горизонтальной оси откладывают продолжительность каждого элемента цикла. При этом определяют все активные вспомогательные движения и их продолжительность (t_E).

Основное технологическое время рассчитывается по формуле

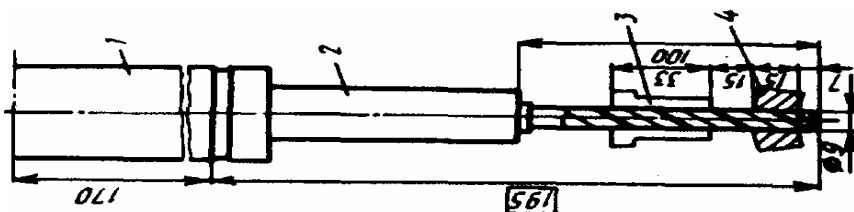
$$t_{OT} = t_{Ц} - t_E ,$$

где $t_{Ц}$ — время цикла, определенное по циклограмме;

t_E — вспомогательное время (на установку и съем заготовки, подвод и отвод силовых узлов, перемещение транспортных устройств и т. д.).

Выбирают методы обработки и назначают режимы резания с учетом получения t_{OT} . Для каждого инструмента определяют осевое усилие, крутящий момент, мощность резания.

После расчета режимов резания разрабатывается инструментальная наладка (рис. 10.6).



- 1 — шпindelь; 2 — удлинитель; 3 — кондукторная втулка;
4 — обрабатываемый элемент детали

Рисунок 10.6 — Схема сверления на агрегатном станке

Согласно чертежу обрабатываемой детали и схемам обработки, проектируют специальные режущие и вспомогательные инструменты, приспособления, шпиндельные коробки, другие оригинальные узлы, разрабатывают общий вид агрегатного станка.

Г л а в а 11

ОСНОВЫ ХУДОЖЕСТВЕННОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ СТАНКОВ. ГАРМОНИЗАЦИЯ ФОРМЫ СТАНКОВ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ЭРГОНОМИКИ [10]

Художественное конструирование — метод разработки промышленных изделий на основе технической эстетики и эргономики. Эти изделия должны отвечать определенным требованиям (функциональности, удобству обслуживания, эстетичности, доступной стоимости) и вписываться в окружающую среду. При этом эстетический образ изделия (станка) стал атрибутом современной промышленной продукции. Создание изделия, отвечающего современным требованиям, предполагает сотрудничество инженера-конструктора и художника-конструктора. Их деятельность в сфере технической эстетики призвана облагораживать предметную среду и процесс труда, благотворно влиять на повышение производительности труда.

11.1 Гармонизация формы станков пропорционированием [10]

Пропорцией называется равенство двух отношений. При разработке конструкций художнику-конструктору приходится решать задачи, связанные с формообразованием. Среди этих задач большое значение имеет выбор выразительных пропорций, позволяющих эстетизировать создаваемое изделие. На рисунке 11.1 показаны прямоугольники с взаимным расположением, определяющим прямую пропорцию

$$\frac{a}{b} = \frac{a'}{b'}$$

На рисунке 11.2 расположение треугольников от первого, их диагонали взаимно перпендикулярны и соотношение сторон дает обратную пропорцию

$$\frac{a}{b} = \frac{b'}{a'}$$

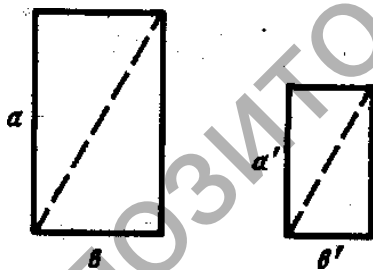


Рисунок 11.1 — Прямая пропорция

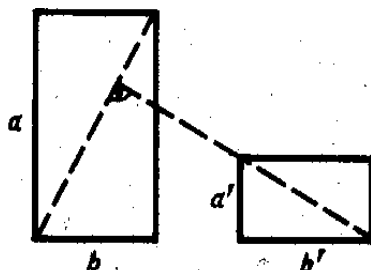


Рисунок 11.2 — Обратная пропорция

На рисунке 11.3 показана графическая схема пропорционирования элементов консольно-фрезерного станка с помощью двух систем прямых линий. На основе системы 1 гармонизируются элементы несущей системы станка (станина, консоль со столом, хобот). На основе системы 2 гармонизируется фрезерная головка и панели органов управления.

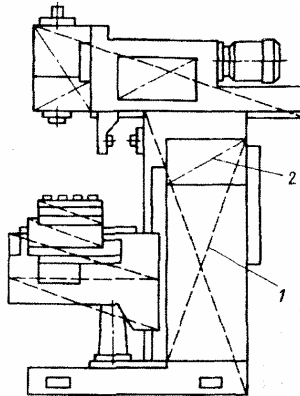


Рисунок 11.3 — Графическая схема пропорции элементов консольно-фрезерного станка

При пропорционировании станков следует учитывать антропометрические данные, которые оказывают влияние на высоту расположения механизмов управления, на размеры и форму регулировочных окон и крышек к ним [10].

11.2 Обеспечение требований эргономики [10]

Эргономика — наука, изучающая взаимосвязи и взаимодействия человека с машиной и окружающей его предметной средой в процессе труда.

Основными разделами эргономики являются антропометрия, инженерная психология, физиология, гигиена труда.

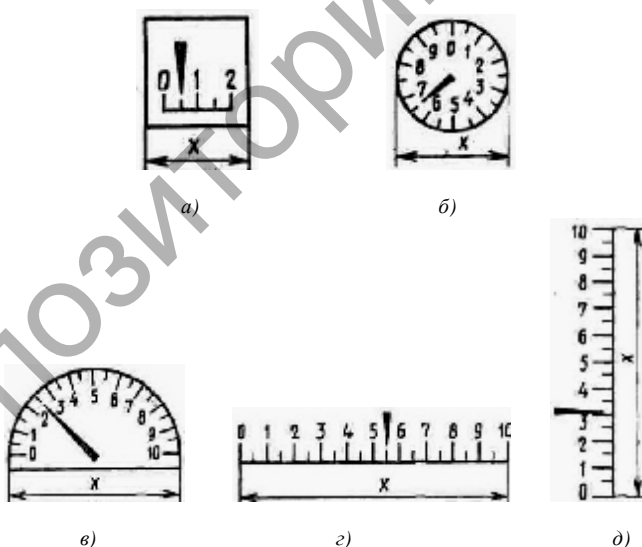
Антропометрия — измерение тела человека. Средние антропометрические данные кладут в основу проектирования машин, орудий труда, помещений, потребительских изделий, что дает возможность правильно и эффективно эксплуатировать эти предметы.

Задачами инженерной психологии являются изучение возможностей работы человека и машины и оптимальное распределение функций между ними, при этом должны обеспечиваться наилучшие условия и результаты труда. Основные факторы, которые должна учитывать инженерная психология, следующие:

1. Зона центрального зрения лежит в пределах $1,5...3^\circ$; зона мгновенного зрения равна 18° и определяется максимальной величиной скачка глаза в процессе его движения; в вертикальной плоскости зона обзора без поворота головы — 86° , а с поворотом головы — 130° ; в горизонтальной плоскости зона обзора без поворота головы равна 120° , а с поворотом головы — 225° .

2. При конструировании органов управления в технических устройствах необходимо базироваться на психофизиологии человека, так как точность считывания информации зависит от образа считываемой информации. Например, в стрелочных индикаторах наиболее точно читается показания счетчиков типа «открытое окно» (рис. 11.4, *а*), а затем других видов (рис. 11.4, *б—д*).

Большое влияние на точность считывания информации при знаковой индикации оказывает форма начертания букв и цифр (рис. 11.5). Более точно считываются начертания цифр, образованные прямыми цифрами, и менее точно — округлое начертание.



а — открытое окно; *б* — круговая; *в* — полукруглая;
г — горизонтальная; *д* — вертикальная; *х* — размер шкалы

Рисунок 11.4 — Формы шкал

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

a)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

b)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

в)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

г)

a — начертание Бергера; *b* — Макворта; *в* — Слейта; *г* — Ланселла

Рисунок 11.5 — Типы начертания цифр

Информация, которая считывается с приборов, имеет большое значение при принятии соответствующих решений в инженерной и другой деятельности человека.

Глава 12

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНКОВ [11; 19]

Под объектами моделирования в машиностроении следует понимать:

- 1) технологические системы (ТС) — участки из универсальных станков, автоматические линии, гибкие производственные системы (ГПС);
- 2) технологические процессы (ТП);
- 3) физические процессы (ФП) — процессы, протекающие при резании металлов, функционировании технологического оборудования в упругой системе СПИД и т. д.

Математическая модель объекта моделирования — система математических элементов (чисел, переменных, уравнений, неравенств, множеств, матриц, графов и т. д.) и отношений между ними, адекватно отражающих некоторые свойства объекта, существенные с точки зрения инженера для решения той или иной задачи.

Математическая модель разрабатывается для:

- 1) описания ФП, ТП, ТС;
- 2) исследования ФП, ТП, ТС;
- 3) проектирования ТП, ТС;
- 4) оптимизации в виде проектирования ТП и ТС и организации работы ТС;
- 5) построения систем автоматизированного проектирования.

Структурная схема объекта моделирования представлена на рисунке 12.1.

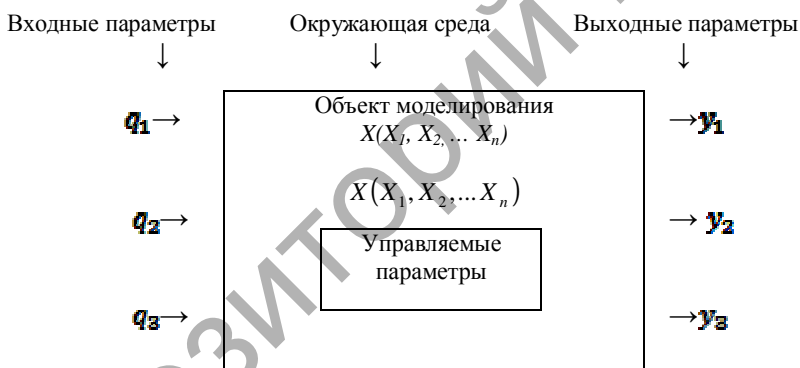


Рисунок 12.1 — Схема объекта моделирования

На схеме объекта моделирования (рис. 12.1) изображены математическими символами входные параметры, окружающая среда и выходные параметры.

12.1 Оптимизация

Задачи проектирования технологических процессов (ТП) являются многовариантными. К многовариантным относятся, например,

задачи выбора оборудования, режущего инструмента, расчета режимов резания и т. д. В разрабатываемом ТП число возможных комбинаций переходов, схем базирования, методов обработки и компоновок операций даже для простых деталей значительно, а для более сложных возрастает чрезвычайно.

Разные варианты ТП изготовления одной и той же детали вследствие различий в структуре, применяемом оборудовании, инструменте, режимах резания и т. д. имеют различные выходные показатели: производительность, себестоимость, расход металла, загрузку оборудования и др.

Наличие нескольких вариантов решения задачи (вариантов ТП) естественным путем приводит к задаче выбора наилучшего варианта. В нашем случае таковым будет вариант ТП, обеспечивающий выполнение в конкретных производственных условиях все требования чертежа детали и дающий наилучшее значение выходных показателей. Такой технологический процесс носит название **оптимального**. Таким образом, задача проектирования ТП по своей природе является оптимизационной.

Пример

Однопараметрическая однокритериальная оптимизация режимов резания. Требуется определить оптимальную подачу $S_{\text{опт}}$, при этом глубина резания постоянна ($t = \text{const}$).

Оптимизация подачи производится по следующим параметрам формулам и ограничениям.

1. Критерий оптимизации — сила P_z .

2. Целевая функция — зависимость между критерием (критериями) оптимизации и подлежащими оптимизации параметрами с указанием направления (вида) экстремума. Она имеет следующий вид:

$$P_z = C_{p_z} t^{x_{p_z}} S^{y_{p_z}} K_{\text{общ}} \rightarrow \max .$$

3. Система ограничений включает в себя одно из них:

$$0,07 \leq S \leq 4,16 \text{ мм / об .}$$

4. Система уравнений. Математическая модель включает в себя одно из уравнений:

$$P_z = C_{p_z} t^{x_{p_z}} S^{y_{p_z}} K_{\text{общ}} .$$

5. Входные параметры:

$$C_{P_z}, X_{P_z}, Y_{P_z}, K_{\text{общ}},$$

где P_z — выходной параметр;

t, S — внутренние параметры.

6. Управляемый (варьируемый) параметр — S .

Задача оптимизации решается в два этапа:

Этап 1

Определение области допустимых решений (ОДР).

На рисунке 12.2 изображен график зависимости тангенциальной силы P_z при точении от подачи S .

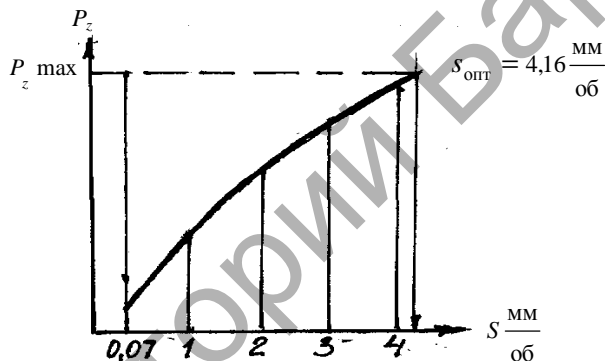


Рисунок 12.2 — График изменения силы резания P_z

Этап 2

Определение оптимального параметра. Общий вид математической модели

$$y = F(X, Q),$$

где y — вектор выходных параметров, $y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$;

Q — вектор внешних параметров (входных), $Q = (q_1, q_2, \dots, q_p)$.

Для приведенной математической модели резания:

$$y = (P_x, P_y, P_z); \quad x = (t, S),$$

$$Q = (C_{P_x}, C_{P_y}, C_{P_z}, X_{P_x}, X_{P_y}, X_{P_z}, Y_{P_x}, Y_{P_y}, Y_{P_z}, K_{\text{общ}}).$$

12.2 Система автоматизированного проектирования станков [13]

Существенное влияние на процесс проектирования станочного оборудования оказывают средства вычислительной техники, особенно эффективно использование ЭВМ для сбора и обработки исходной информации, выполнения сложных, трудоемких расчетов и для окончательного оформления чертежей и другой рабочей документации. Применение агрегатно-модульного принципа, когда различные по назначению и оформлению станки компонуются из общего набора узлов (модулей), дает возможность формализовать весь процесс проектирования и в значительной мере его автоматизировать (рис. 12.3 и 12.4).

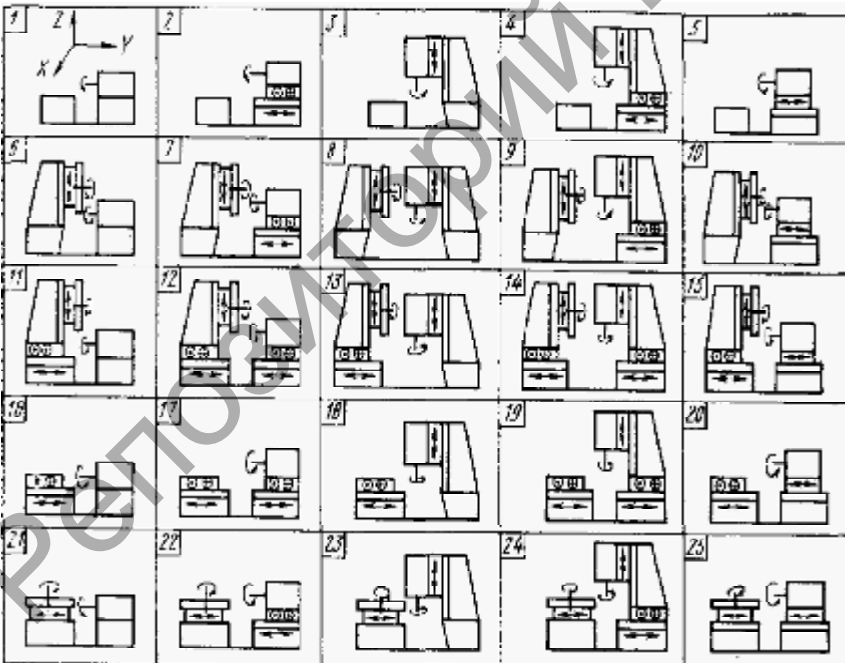


Рисунок 12.3 — Варианты компоновок многооперационных станков из унифицированных модулей

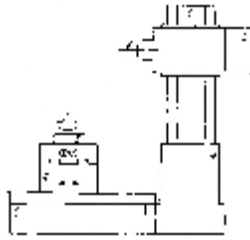


Рисунок 12.4 — Схема компоновки станка, полученной на ЭВМ

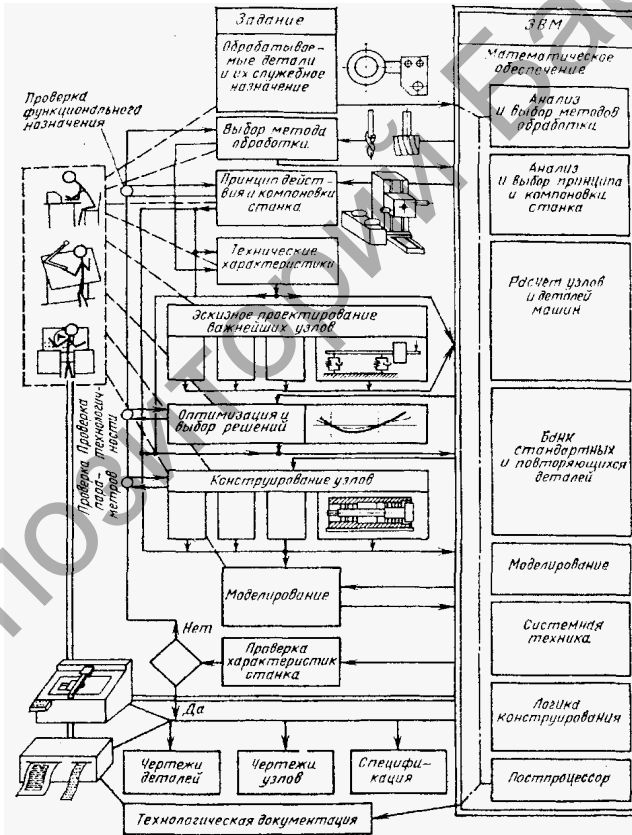


Рисунок 12.5 — Схема взаимодействия конструктора и ЭВМ

Существенное влияние на процесс проектирования станочного оборудования оказывают средства вычислительной техники. Особенно эффективно использование ЭВМ для сбора и обработки исходной информации, выполнения сложных, трудоемких расчетов и для окончательного оформления чертежей и другой рабочей документации. Примерная схема взаимодействия конструктора и средств вычислительной техники приведена на рисунке 12.5.

Репозиторий БарГУ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Калинин, В. И.* В помощь конструктору машиностроителю / В. И. Калинин. — М. : Машиностроение, 1983. — 288 с. : ил.
2. *Колев, Н. С.* Металлорежущие станки / Н. С. Колев. — М. : Машиностроение, 1980. — 500 с. : ил.
3. *Кочергин, А. И.* Металлообрабатывающие станки, линии и инструменты / А. И. Кочергин. — Мн. : Выш. шк., 1979. — 576 с. : ил.
4. *Кочергин, А. И.* Конструирование и расчет станочных комплексов. Курсовое проектирование / А. И. Кочергин. — Мн. : Выш. шк., 1991. — 382 с. : ил.
5. *Кочергин, А. И.* Автоматы и автоматические линии / А. И. Кочергин. — Мн. : Выш. шк., 1980. — 288 с. : ил.
6. *Кучер, М. М.* Металлорежущие станки / М. М. Кучер. — Л. : Машиностроение, 1969. — 718 с. : ил.
7. *Лисовой, А. И.* Устройство, наладка и эксплуатация металлообрабатывающих станков и автоматических линий / А. И. Лисовой. — М. : Машиностроение, 1971. — 422 с. : ил.
8. *Локтева, С. Е.* Устройство, наладка и эксплуатация металлообрабатывающих станков / С. Е. Локтева. — М. : Машиностроение, 1988. — 228 с. : ил.
9. *Маеров, А. Г.* Устройство, основы конструирования и расчет металлообрабатывающих станков и автоматических линий / А. Г. Маеров. — М. : Машиностроение, 1981. — 398 с. : ил.
10. *Проников, А. С.* Металлорежущие станки и автоматы / А. С. Проников. — М. : Машиностроение, 1981. — 479 с. : ил.
11. *Проников, А. С.* Проектирование металлорежущих станков и станочных систем : справ.-учеб. : в 3 т. / А. С. Проников ; под общей ред. А. С. Проникова. — Т. 3 : Проектирование станочных систем. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. — 584 с. : ил.
12. *Пуш, В. Э.* Конструирование металлорежущих станков / В. Э. Пуш. — М. : Машиностроение, 1977. — 390 с. : ил.
13. *Пуш, В. Э.* Металлорежущих станки / В. Э. Пуш. — М. : Машиностроение, 1985. — 256 с. : ил.
14. *Свиричевский, Ю. И.* Расчет и конструирование коробок скоростей и подач / Ю. И. Свиричевский, Н. П. Макейчик. — Минск : Выш. шк., 1976. — 382 с. : ил.
15. *Сибикин, М. Ю.* Технологическое оборудование / М. Ю. Сибикин. — М. : ФОРУМ-ИНФРА, 2005. — 400 с. : ил.
16. *Тепинкичев, В. К.* Металлорежущие станки / В. К. Тепинкичев. — М. : Машиностроение, 1973. — 471 с. : ил.
17. *Фельдштейн, Е. Э.* Режущий инструмент и оснастка станков с ЧПУ / Е. Э. Фельдштейн. — Мн. : Выш. шк., 1988. — 276 с. : ил.
18. *Чернов, Н. Н.* Технологическое оборудование (металлорежущие станки) / Н. Н. Чернов. — Ростов-н/Д. : Феникс, 2009. — 491 с. : ил.
19. *Васильев, В.* Математическое и компьютерное моделирование в среде системы MATLAB/SIMULINK / В. В. Васильев, Л. А. Симак, А. М. Рыбников. — [Б. м.] : Нац. акад. наук Украины, 2008.

Учебное издание

Федосов Николай Михайлович

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ.
МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ**

**Курс лекций
для студентов инженерных специальностей**

Технический редактор *М. Л. Потапчик*

Корректор *А. М. Войнова*

Компьютерная верстка *В. В. Кукреши*

Ответственный за выпуск *Е. Г. Хохол*

Подписано в печать 21.12.2010.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная.

Гарнитура Таймс. Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. 8,60. Уч.-изд. л. 5,76.

Заказ 170. Тираж 80 экз.

ЛИ 02330/0552803 от 09.02.2010

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования

«Барановичский государственный университет»,
225404, г. Барановичи, ул. Войкова, 21.

Репозиторий БарГУ