

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

И.П. НИКИТИНА

ОБОРУДОВАНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рекомендовано Ученым советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования – «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов заочной формы обучения, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальностям «Металлообрабатывающие станки и комплексы», «Технология машиностроения», «Автоматизация технологических процессов и производств (в машиностроении)», «Экономика и управление на предприятиях машиностроения»

Оренбург 2006

УДК 621.9.02: 658.52.011.56(075.8)

ББК 34.63

Н 62

Рецензент

доктор технических наук, доцент А.Н. Поляков

Никитина И.П.

Н 62

Оборудование машиностроительного производства: Лекции/
И.П. Никитина. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006. – 157с.

Рекомендовано использовать в качестве материала к лекциям для студентов заочной формы обучения по дисциплинам: металло-режущие станки; оборудование отрасли; станочная технологическая оснастка; механизмы металлорежущего оборудования; транспортно-накопительные системы и промышленные роботы, для студентов специальностей 151002, 151001, 220301, 080505.

ББК 34.63

© Никитина И.П., 2006

© ГОУ ОГУ, 2006

Содержание

1 Основные определения	4
2 Классификация станков	6
3 Техничко–экономические показатели станков	10
3.1 Эффективность	10
3.2 Производительность	11
3.3 Надежность	14
3.4 Гибкость	18
3.5 Точность	19
4 Формообразование на станках	24
4.1 Методы образования производящих линий	25
4.2 Образование поверхностей	26
5 Кинематическая структура станков	28
5.1 Классификация движений в станках	28
5.2 Кинематическая группа	29
5.3 Кинематические структуры станков и их классификация	32
6 Станки токарной группы	34
7 Сверлильные станки	45
7.1 Вертикально-сверлильные станки	46
7.1.1 Универсальный вертикально-сверлильный станок модели 2Н135	48
7.1.2 Коробки скоростей и коробки подачи вертикально-сверлильных станков	51
7.2 Радиально-сверлильные станки	53
8 Расточные станки	64
8.1 Горизонтально – расточные станки	64
8.2 Компоновка	66
8.3 Конструкция наиболее характерных узлов	69
8.4 Столы станков	71
9 Транспортирующие машины с тяговым элементом	75
9.1 Виды грузов. Характеристики транспортирующих машин	75
9.2 Ленточные конвейеры	78
9.2.1 Ленточные конвейеры с резинотканевой лентой	83
9.2.2 Конвейеры с бесконтактными опорами	114
9.2.3 Ленточные конвейеры с металлической лентой	116
10 Промышленные роботы	121
10.1 Основные понятия и определения	121
10.2 Движения в ПР	124
10.3 Классификация промышленных роботов	126
10.4 Управление промышленными роботами. Классификация	129
10.5 Виды систем управления	131
11 Кузнечно-прессовое оборудование	132
11.1 Оборудование для резки заготовок	133
11.2 Нагревательное оборудование	136
11.3 Оборудование дляковки	142
11.4 Оборудование для листовой штамповки	147
11.5 Гибочное оборудование	154
Список использованных источников	157

1 Основные определения

Металлорежущий станок (станок) - машина для размерной обработки заготовок в "основном путем снятия стружки. Кроме металлических заготовок на станках обрабатывают также детали из других материалов. К станкам относят и технологическое оборудование, использующее для обработки электрофизические и электрохимические методы, сфокусированный электронный или лазерный луч, поверхностное пластическое деформирование и некоторые другие виды обработки.

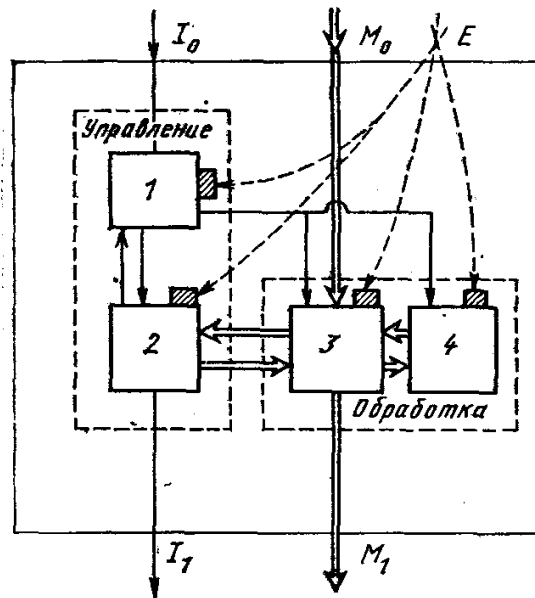
Помимо основной рабочей операции, связанной с изменением формы и размеров заготовки, на станке необходимо осуществлять вспомогательные операции для смены заготовок, их зажима, измерения, операции по смене режущего инструмента, контроля его состояния и состояния всего станка. В связи с большим разнообразием функций, выполняемых на станках, их целесообразно рассматривать как систему, состоящую из нескольких функциональных подсистем (рисунок 1).

Подсистема манипулирования обеспечивает доставку заготовок к месту обработки, их зажим в заданной позиции, перемещение к месту контроля и измерения и, наконец, вывод готовых изделий из рабочей зоны станка. Таким образом, подсистема манипулирования обеспечивает поток материала, проходящего через рабочую зону станка в процессе его обработки. Дополнительные функции подсистемы манипулирования необходимы также для смены режущих инструментов и дополнительных приспособлений. Подсистема управления на основе входной внешней информации и дополнительной внутренней текущей информации от контрольных и измерительных устройств обеспечивает правильное функционирование всех остальных подсистем в соответствии с поставленной задачей. Входная информация поступает в виде чертежа, маршрутной технологии или заранее подготовленной управляющей программы.

Текущая информация о правильности состояния и поведения всей технологической системы (станка, инструмента, манипуляторов, вспомогательных устройств) поступает в подсистему управления при ручном управлении от органов чувств оператора, а при автоматизации контрольных функций — от соответствующих преобразователей (датчиков) подсистемы контроля. Выходная информация дает сведения о фактических размерах обработанной на станке детали по результатам ее измерения.

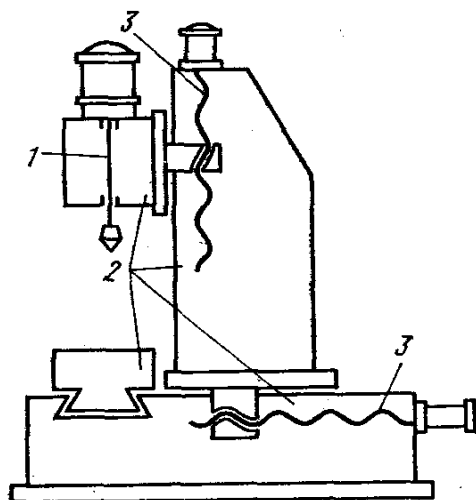
Собственно станок подразделяется на несколько важнейших частей, обычно называемых узлами. *Главный привод* станка сообщает движение инструменту или заготовке для осуществления процесса резания с соответствующей скоростью. У подавляющего большинства станков главный привод (рисунок 2) сообщает вращательное движение шпинделю, в котором закреплен режущий инструмент либо заготовка.

Привод подачи необходим для перемещения инструмента относительно заготовки для формирования обрабатываемой поверхности.



I_0, I_1 - входная и выходная информация; M_0, M_1 — заготовки и изделия; E — энергия; 1 - подсистема управления; 2 — подсистема контроля; 3 - подсистема манипулирования; 4 — подсистема обработки

Рисунок 1 - Структурная схема станка



1 — главный привод; 2 — базовые детали; 3 — приводы подачи

Рисунок 2 - Основные узлы (сборочные единицы) станка

У подавляющего большинства станков привод подачи сообщает узлу станка прямолинейное движение. Сочетанием нескольких прямолинейных, а иногда и вращательных движений можно реализовать любую пространственную траекторию.

Привод позиционирования необходим во многих станках для перемещения того или иного узла станка, из некоторой исходной позиции в другую заданную позицию, например, при последовательной обработке нескольких отверстий или нескольких параллельных плоскостей на одной и той же заготовке. Во многих современных станках с числовым программным управлением (ЧПУ) функции приводов подачи и позиционирования выполняет один общий привод.

Несущая система станка состоит из последовательного набора соединен-

ных между собой базовых деталей. Соединения могут быть неподвижными (стыки) или подвижными (направляющие). Несущая система обеспечивает правильность взаимного расположения режущего инструмента и заготовки под воздействием силовых и температурных факторов.

Манипулирующие устройства необходимы для автоматизации различных вспомогательных движений в станке для смены заготовок, их зажима, перемещения или поворота, смены режущих инструментов, удаления стружки и т. п. Современный многооперационный станок имеет набор манипуляторов, транспортеров, поворотных устройств, а в некоторых случаях обслуживается универсальным манипулятором с программным управлением (промышленным роботом).

Контрольные и измерительные устройства необходимы в станке для автоматизации наблюдения за правильностью его работы. С помощью них контролируют состояние наиболее ответственных частей станка, работоспособность режущего инструмента, измеряют заготовки и изделие. При достаточно высоком уровне автоматизации результаты контроля измерения поступают в управляющее устройство, а оттуда в виде управляющих сигналов корректируют положение узлов станка.

Устройство управления может быть с ручным обслуживанием оператором, с механической системой управления или с ЧПУ. В настоящее время происходит широкое внедрение микропроцессорных устройств ЧПУ для управления всеми видами станочного оборудования.

2 Классификация станков

В зависимости от целевого назначения станка для обработки тех или иных деталей или их поверхностей, выполнения соответствующих технологических операций и режущего инструмента, станки разделяют на следующие основные группы — токарные, сверлильные и расточные, фрезерные, шлифовальные. Условная классификация станков по технологическому признаку приведена в таблице 1. В последние годы получили распространение станки, на которых выполняются различные операции в результате автоматической смены режущих инструментов. Подобные станки получили название *многооперационных станков* или *обрабатывающих центров*. В обозначении конкретных моделей станков первая цифра указывает на группу станка (например, токарные 1), а вторая — на тип (например, токарно-карусельные станки имеют в обозначении цифру 15), а последние цифры характеризуют размер рабочего пространства, т. е. предельно допустимые размеры обработки.

Универсальные станки, иначе называемые станками общего назначения, предназначены для изготовления широкой номенклатуры деталей, обрабатываемых небольшими партиями в условиях мелкосерийного и серийного производства. Универсальные станки с ручным управлением требуют от оператора подготовки и частичной или полной реализации программы, а также выполнения функции манипулирования (смена заготовки и инструмента), контроль и изменение. Универсальные станки с числовым управлением требуют от оператора лишь отдельных функций манипулирования

Таблица 1 - Классификация металлорежущих станков

Станки	Типы станков									
	Группа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы одношпиндельные	Автоматы многшпиндельные	Револьверные	Сверлильно-отрезные	Карусельные	Токарные и лоботокарные	Много-резцовые	Специализированные для фасонных изделий	Разные токарные
Сверлильные и расточные	2	Вертикально-сверлильные	Одношпиндельные полуавтоматы	Многошпиндельные полуавтоматы	Координатно-расточные одно-стоечные	Радиально-сверлильные	Расточные	Алмазносточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные
Шлифовальные, полировальные, доводочные	3	Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочношлифовальные	Специализированные шлифовальные	—	Заточные	Плоскошлифовальные с прямым или круглым столом	Притирочные и полировальные	Разные станки, работающие абразивным инструментом
Комбинированные	4	Универсальные	Полуавтоматы	Автоматы	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 1

Станки	Группа	Типы станков								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зубо- резьбооб- рабатыва- ющие	5	Зубостро- гальные для цилин- дрических колес	Зуборез- ные для кониче- ских колес	Зубофре- зерные для цилиндри- ческих колес и шлицевых валиков	Зубофре- зерные для червячных колес	Для об- работки торцов зубьев колес	Резьбо- фрезер- ные	Зубоот- делочные	Зубо- и резьбошли- фовальные	Разные зубо- и резьбооб- рабатыва- ющие
Фрезерные	6	Вертикаль- но-фрезер- ные кон- сольные	Фрезерные непрерыв- ного действия	—	Копиро- вальные и гравиро- вальные	Верти- кальные бескон- сольные	Про- должные	Широко- универ- сальные	Горизон- тальные консоль- ные	Разные фрезерные
Строгаль- ные, дол- бежные, протяжные	7	Продольные одно- стоечные	Продольные двух- стоечные	Поперечно- строгаль- ные	Долбежные	Протяж- ные го- ризон- тальные	—	Протяж- ные вер- тикаль- ные	—	Разные строгаль- ные
Разрезные	8	Отрезные, токарным резцом	работавшие абразив- ным кругом	Правильно- отрезные фрикцион- ным блоком	Правильно- отрезные	Ленточ- ные	Пилы диско- вые	ножо- вочные	—	—
Разные	9	Муфто- и трубообра- батыва- ющие	Пилонасе- кательные	Правильно- и бесцен- трово-об- дирочные	—	Для ис- пытания инстру- мента	Дели- тельные машины	Балан- сировоч- ные	—	—

и контроля. При этом становится возможным обслуживание одним оператором нескольких станков, так называемое многостаночное обслуживание.

Гибкие производственные модули (ГПМ) представляют собой автоматизированную универсальную технологическую ячейку, основой которой является станок с полным набором манипуляторов, контрольных и измерительных устройств.

Специализированные станки предназначены для обработки заготовок сравнительно узкой номенклатуры. Примером могут служить токарные станки для обработки коленчатых валов или шлифовальные станки для обработки колец шарикоподшипников. Специализированные станки имеют высокую степень автоматизации, и их используют в крупносерийном производстве при больших партиях, требующих редкой переналадки.

Специальные станки используют для производительной обработки одной или нескольких почти одинаковых деталей в условиях крупносерийного и особенно массового производства. Специальные станки, как правило, имеют высокую степень автоматизации.

Автоматическую линию образуют из набора станков-автоматов, расположенных последовательно в соответствии с ходом технологического процесса и связанных общим транспортом и общим управлением. Переналаживаемая автоматическая линия может в режиме автоматической переналадки переходить от обработки одной детали к обработке другой похожей на нее детали. Общее число разных деталей при этом ограничено несколькими штуками.

Станки наиболее распространенных технологических групп образуют размерные ряды, в которых за каждым станком закреплен вполне определенный диапазон размеров обрабатываемых деталей. Например, в группе токарных станков возможности станка характеризуются цилиндрическим рабочим пространством (рисунок 3, а), а для многооперационных станков — прямоугольным рабочим пространством (рисунок 3, б). По основному размеру рабочего пространства, максимальному диаметру для токарных станков, ширине стола для фрезерных и многооперационных станков устанавливают ряд стандартных значений, обычно в геометрической прогрессии с некоторым знаменателем ϕ . Так, для станков токарной группы принят $\phi = 1,25$ и стандартный ряд наибольших диаметров обработки — 250, 320, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000 мм. В зависимости от массы станка, которая связана с размерами обрабатываемых деталей и его типом, принято разделять станки на легкие (до 1 т), средние (1—10 т), и тяжелые (более 10 т). Особо тяжелые станки с массой более 10 т называют уникальными. Станки также условно разделяют на классы точности — нормальной, повышенной, высокой, особо высокой и особо точные станки. Класс точности обозначают соответственно буквами Н, П, В, А, С. Таким образом, обозначение токарно-винторезного станка модели 16К20П следует расшифровать так: токарно-винторезный станок (первые две цифры) с высотой центров (половина наибольшего диаметра обработки) 200 мм, повышенной точности (П) и очередной модификации (К). При обозначении станков с числовым программным управлением (ЧПУ) добавляют еще буквы и цифры, например, 16К20ПФ3 (Ф3 — числовое управление тремя координатными движениями).

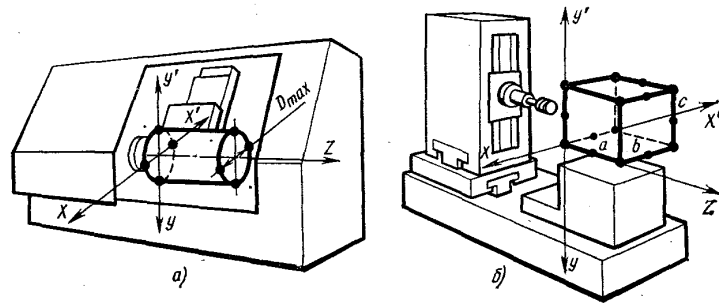


Рисунок 3 - Рабочее пространство токарного (а) и многооперационного (б) станков

3 Техничко–экономические показатели станков

Для сравнительной оценки технического уровня станков и комплектов станочного оборудования, а также для выбора станков в соответствии с решением конкретной производственной задачи используют набор показателей, характеризующих качество, как отдельных станков, так и набора станочного оборудования.

3.1 Эффективность

Эффективность — комплексный (интегральный) показатель, который наиболее полно отражает главное назначение станочного оборудования — повышать производительность труда и соответственно снижать затраты труда при обработке деталей. Эффективность станков, шт./руб.,

$$A = N / \Sigma c, \quad (1)$$

где N — годовой выпуск деталей;

Σc — сумма годовых затрат на их изготовление.

При проектировании или подборе станочного оборудования всегда следует стремиться к максимальной эффективности, а показатель (1) при этом следует рассматривать как целевую функцию

$$A = N / \Sigma c \rightarrow \max, \quad (2)$$

Если задана годовая программа выпуска, то условие (2) приводится к минимуму приведенных затрат

$$\Sigma c \rightarrow \min, \quad (3)$$

Сравнение эффективности двух вариантов станочного оборудования при заданной программе выпуска ведут по разности приведенных затрат

$$P = (\Sigma c)_1 - (\Sigma c)_2, \quad (4)$$

где индекс «2» относится к более совершенному варианту станочного оборудования при сравнении с базовым (индекс «1»).

3.2 Производительность

Производительность станка определяет его способность обеспечивать обработку определенного числа деталей в единицу времени.

Штучная производительность (шт/г) выражается числом деталей, изготовленных в единицу времени, при непрерывной безотказной работе

$$Q = T_0/T, \quad (5)$$

где T_0 — годовой фонд времени;

T — полное время всего цикла изготовления детали.

При изготовлении на универсальном станке разных деталей его штучную производительность определяют по условной, так называемой представительной детали, форму и размеры которой берут усредненными по всему рассматриваемому множеству деталей. Все исходные параметры представительной детали (масса, размеры, допуски и т. д.) определяют для всей группы (семейства) рассматриваемых деталей как средневзвешенные величины

$$\bar{x} = \sum x \cdot \delta_{cx} / \delta_c,$$

где \bar{x} — величина данного параметра внутри каждого интервала;

δ_{cx} — частота по интервалам изменения величины x ;

δ_c — общая частота (весомость) деталей рассматриваемой группы.

Для станков широкой универсальности рассматривают набор представительных деталей, каждая из которых соответствует семейству однотипных деталей, сходных по форме и технологии обработки. Производительность определяют по среднему значению времени цикла обработки, которое без учета потерь выражается как

$$T = t_p + t_b, \quad (6)$$

где t_p - время обработки резанием;

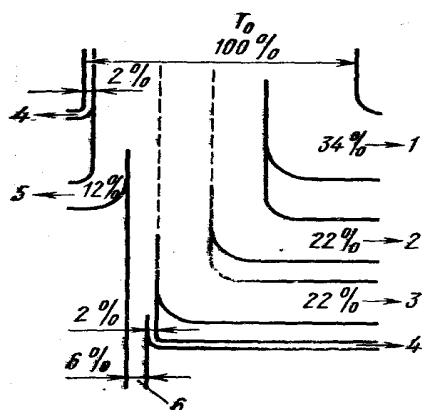
t_b - время на все виды вспомогательных операций, не совмещенных по времени с обработкой.

Если процесс обработки осуществляют непрерывно и дополнительное время на вспомогательные операции не затрачивается, т. е. если $t_b = 0$, а $T = t_p$, то штучная производительность совпадает с понятием технологической производительности

$$Q_T = 1/t_p, \quad (7)$$

определяемой только по машинному времени. Штучная производительность связана с годовым выпуском деталей коэффициентом использования η , учитывающим потери годового фонда времени (рисунок 4) по организационным и техническим причинам:

$$N = Q \cdot \eta, \quad (8)$$



1 - выходные, отпуск; 2 - отсутствие третьей смены; 3 - односменная работа; 4 - отказы; 5 - переналадка; 6 - использование станочного оборудования

Рисунок 4 - Потери годового фонда времени

Кроме штучной производительности иногда используют для сравнительной оценки различного по характеру оборудования и разных методов обработки другие условные показатели. Производительность формообразования измеряют площадью поверхности, обработанной на станке в единицу времени

$$Q = v_p / L \cdot t_p / T, \quad (9)$$

где v_p – скорость перемещения инструмента по образующей линии на обрабатываемой поверхности (см/мин).

L — и полный путь перемещения инструмента по образующей линии на обрабатываемой поверхности (мин).

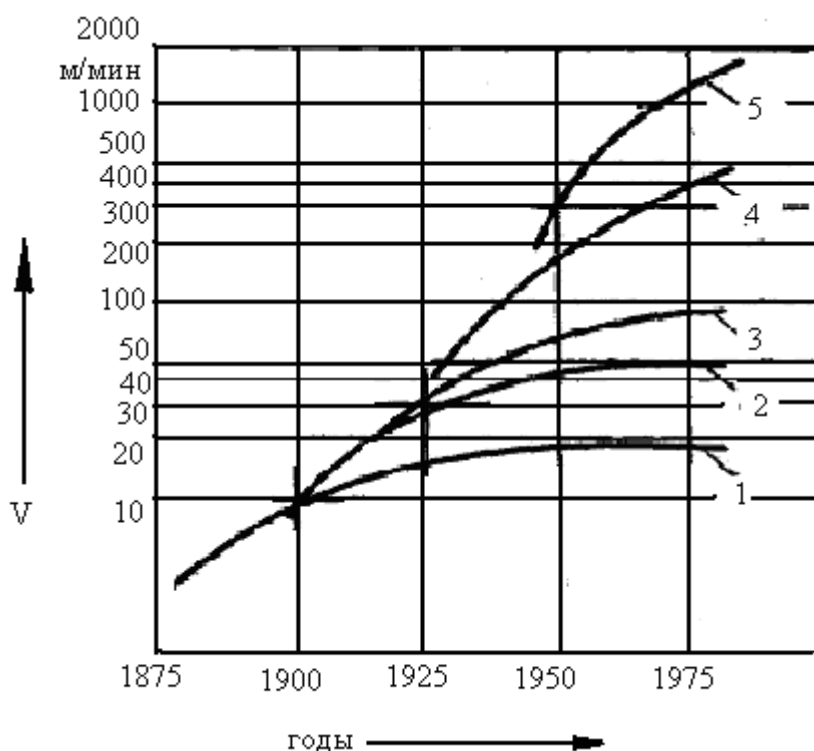
Производительность резания определяют объемом материала, снятого с заготовки в единицу времени. Этот показатель применяют иногда для оценки возможностей станков для предварительной обработки или для сравнения различных технологических способов размерной обработки (таблица 2). В таблице приведены также данные по затратам мощности при удалении 1 см^3 металла за 1 мин.

Основные пути повышения производительности станков и станочных систем связаны со следующими тенденциями: увеличением технологической производительности; совмещением разных операций во времени; сокращением времени на вспомогательные движения; сокращением всех видов внецикловых потерь.

Таблица 2 - Производительность размерной обработки

Вид обработки	Производительность, $\text{см}^3/\text{мин}$	Мощность, кВт	Вид обработки	Производительность, $\text{см}^3/\text{мин}$	Мощность, кВт
Точение	1500	0,06	Электрохимическая	15	10
Шлифование	800	0,6	Ультразвуковая	1	25
Электроискровая	15	1,0	Лазерная	0,01	4000

Технологическая производительность увеличивается с повышением скорости обработки (рисунок 5) и с увеличением суммарной длины режущих кромок инструмента, участвующих в процессе формообразования. Повышение скорости обработки ограничивается свойствами материала режущего инструмента. Резкое повышение скорости возможно при переходе на новые инструментальные материалы. При замене режущего инструмента из быстрорежущей стали и твердого сплава инструментом из порошкового твердого сплава и алмазным инструментом можно ожидать существенное повышение скорости резания и соответственно подачи. Значительное повышение производительности достигается применением эффективных смазочно-охлаждающих жидкостей. Увеличение суммарной длины режущих кромок приводит к усложнению и удорожанию режущего инструмента, что оправдывает себя, как правило, при соответствующем увеличении масштаба производства.



1 — инструментальной стали; 2 — быстрорежущей стали; 3 — твердого сплава; 4 — порошкового материала; 5 — керамики

Рисунок 5 - Изменение скорости резания (ориентировочные значения) при использовании режущих инструментов

Большим резервом повышения производительности является совмещение во времени различных операций, как основных, так и вспомогательных. Одновременное выполнение нескольких рабочих операций осуществляется на многопозиционных станках и автоматических линиях, используемых в крупносерийном и массовом производстве. Совмещение рабочих операций с вспомогательными всегда целесообразно, если это не связано с излишним усложнением и удорожанием станка. Применение непрерывных методов обработки (бесцентрового шлифования, накатки резьбы непрерывным способом» непрерывного протягивания и др.) дает возможность полностью совместить все вспомогательные операции с рабо-

чими и обеспечить наибольшую производительность станка.

Сокращение времени на вспомогательные движения (холостые ходы) для повышения производительности станка обеспечивается совершенствованием привода и системы управления. Ограничения по скорости вспомогательных движений связаны с возникающими при этом инерционными нагрузками и их отрицательным влиянием по различным критериям работоспособности деталей и механизмов станка. Все виды внецикловых потерь сокращаются при комплексной автоматизации и совершенствовании системы управления как отдельным станком, так и всем автоматизированным производством на базе вычислительной техники.

Автоматизация смены инструмента и совмещение операций смены затупленного инструмента на станке с рабочими операциями сокращают потери времени на замену инструмента. Повышение надежности станков и автоматических систем снижает число отказов и общие затраты на устранение этих отказов.

3.3 Надежность

Надежность станка — свойство станка обеспечивать бесперебойный выпуск годной продукции в заданном количестве в течении определенного срока службы и в условиях применения технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Нарушение работоспособности станка называют *отказом*. При отказе продукция либо не выдается, либо является бракованной. В автоматизированных станках и автоматических линиях отказы могут быть связаны с нестабильностью условий работы под влиянием отдельных случайных факторов и сочетания этих случайных факторов — разброса параметров заготовок, переменности сил резания и трения, отказов элементов систем управления и т. д. Кроме того, причинами отказов может быть потеря первоначальной точности станка из-за изнашивания его частей и ограниченной долговечности важнейших его деталей и механизмов (направляющих, опор, шпинделей, передач винт—гайка, фиксирующих устройств и т. п.).

Безотказность станка — свойство станка непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени. Безотказность может быть оценена следующими показателями.

Вероятность отказа по результатам испытаний N_0 элементов, из которых отказали $N_{от}$ = N_0 - $N_{н}$, а $N_{н}$ оказались исправными, определяют по формуле

$$Q(t) = N_{от} / N_0 \quad (10)$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - Q(t) = N_{н} / N_0 \quad (11)$$

Интенсивность отказов — условная плотность вероятности возникновения отказа в единицу времени

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_{II}} \cdot \frac{dN_{OT}}{dT} \quad (12)$$

Вероятность безотказной работы может быть представлена в зависимости от интенсивности отказов. Производную по времени выражения (11) приводят к виду

$$\frac{dP(t)}{dt} = -\frac{1}{N_0} \cdot \frac{dN_{OT}}{dt} = -\frac{N_{II}}{N_0} \lambda(t) = -P(t)\lambda(t)$$

Откуда следует

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (13)$$

Вероятность безотказной работы станка как сложной системы, состоящей из n элементов, соединенных последовательно, при условии их независимости по критерию надежности представляют в виде

$$P_{CT}(t) = \prod_1^n P_i(t) \quad (14)$$

где $P_i(t)$ — вероятность безотказной работы 1-го элемента.

Отказы, имеющие постоянную интенсивность,

$$\lambda(t) = \frac{1}{t_{cp}} = \text{const},$$

где t_{cp} — средняя наработка между отказами дает вероятность безотказной работы в виде

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-t/t_{cp}} \quad (15)$$

Отказы, связанные с изнашиванием элементов станка, обычно подчиняются законам нормального распределения или логарифмически-нормального распределения. В первом случае известны две характеристики распределения — средняя наработка на отказ и среднеквадратичное отклонение

$$t_{cp} = \frac{1}{N_0} \sum t_i; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (t_i - t_{cp})^2}{N_0 - 1}}$$

Комплексным показателем надежности станков является коэффициент технического использования

$$\eta = \frac{1}{\left(1 + \sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot t_{cpi})\right)}, \quad (16)$$

где n — число независимых элементов, подверженных отказам;

λ_i — интенсивность отказов i -го элемента;

t_{cpi} — среднее время на устранение отказа (на восстановление).

Коэффициент технического использования η дает возможность оценить фактическую производительность Q_{ϕ} по сравнению с номинальным значением производительности Q (при абсолютной надежности): $Q_{\phi} = Q_{\eta}$.

Долговечность станка — свойство станка сохранять работоспособность в течение некоторого времени с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта до наступления предельного состояния. Долговечность отдельных механизмов и деталей станка связана главным образом с изнашиванием подвижных соединений, усталостью при действии переменных напряжений и старением.

Изнашивание подвижных соединений в станке (направляющих, опор шпинделя, передач винт—гайка и др.) является важнейшей причиной ограничений долговечности по критерию сохранения первоначальной точности.

Ремонтпригодность — свойство, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Этот критерий является особенно важным для станков с высокой степенью автоматизации и автоматических станочных систем, так как определяет стоимость затрат на устранение отказов и связанные с этим простои дорогостоящего оборудования.

Технический ресурс — наработка от начала эксплуатации или ее возобновления после среднего и капитального ремонта до перехода в предельное состояние. Для определения долговечности отдельных элементов (деталей и механизмов станка) используют средний ресурс (математическое ожидание).

Современные станки и станочные системы (автоматические линии, участки и производства) являются сложной системой из большого числа разнородных элементов (механических, электрических и радиоэлектронных). Оценка надежности сложной системы должна осуществляться на основе учета и анализа всех действующих факторов. В соответствии с общей формулой (14) вероятность безотказной работы станка

$$P_{ст}(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t),$$

где $P_1(t)$ — надежность по внезапным отказам механических узлов;

$P_2(t)$ — надежность радиоэлектронной аппаратуры;

$P_3(t)$ — надежность, обусловленная отказами по изнашиванию.

Технологическая надежность станков и станочных систем, как свойство сохранять во времени первоначальную точность оборудования и соответствующее качество обработки, имеет важное значение в условиях длительной и интенсивной эксплуатации. В основе аналитических методов оценки технологической надежности станков лежит разработка математической модели, отражающей характер изменения точности обработки или точности систем станка во времени.

Диагностирование является эффективным средством повышения надежности станков и станочных систем. При этом осуществляют направленный сбор текущей информации о состоянии станка и его важнейших узлов и элементов. Для сбора информации используют преобразователи, дающие сигнал по естественным для станка возмущениям или на основе специально возбуждаемых периодических воздействий. Поиск и диагностику ошибок, неисправностей, опасных отклонений от нормальной работы осуществляют различными методами. При использовании функциональной модели станок и его отдельные узлы (привод подачи, несущая система) разбивают на конечное число функциональных блоков с одним выходным контролируемым параметром. Совокупность выходных параметров, связанных в единую систему, служит основой модели всего узла или всего станка.

Диагностирование ведут на основе алгебры логики; дефектное состояние функционального блока соответствует нулевому значению параметра, а нормальное состояние соответствует булевому значению «1». Конкретный набор булевых значений оценочных параметров характеризует определенный вид отказа и соответствующим образом кодируется. Для быстрого анализа ситуации и нахождения дефектного блока составляется диагностическая матрица и соответствующая программа для ЭВМ. При этом методе диагностика носит дискретный характер.

При непрерывном действии станка или его узла используют параметрический метод диагностики. В этом случае математическую модель станка составляют в виде системы дифференциальных уравнений, а параметры в уравнениях уточняют по экспериментальным данным. В соответствии с принятой целевой функцией для станка или его узла выбирают критерии оптимизации, по которым на основе текущей информации осуществляется непрерывное регулирование (адаптивное управление) и диагностика.

Иногда используют энергетическую модель, основу которой составляет диаграмма распределения энергетического потока при оптимальных условиях работы станка. Значения параметров уточняют экспериментально. Изменение распределения потоков энергии, фиксируемое встроенными в станок датчиками, анализируется; оно является основой диагностического контроля.

Для повышения надежности станков и автоматических станочных систем целесообразно: оптимизировать сроки службы наиболее дорогостоящих механизмов и деталей станков на основе статистических данных и тщательного анализа с использованием средств вычислительной техники; обеспечивать гарантированную точностную надежность станка и соответствующую долговечность ответственных подвижных соединений (опор и направляющих); применять материалы и различные виды термической обработки, обеспечивающие высокую стабильность базовых деталей несущей системы на весь срок службы станка; устранять в ответственных соединениях трение скольжения, применяя опоры и направляющие с жидкостной и газовой смазкой; применять в наиболее ответственных случаях при

использовании сложных систем автоматического станочного оборудования принцип резервирования, резко повышающий безотказность системы; распространять в станках профилактические устройства обнаружения и предупреждения возможных отказов по наиболее вероятным причинам.

3.4 Гибкость

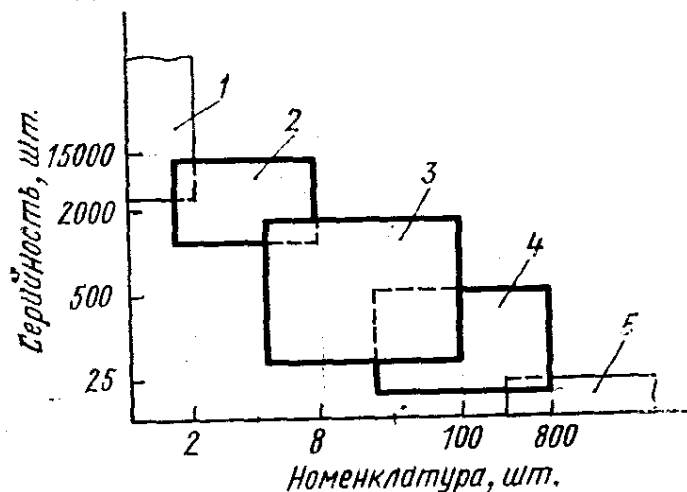
Гибкость станочного оборудования — способность к быстрому переналаживанию при изготовлении других, новых деталей. Чем чаще происходит смена обрабатываемых деталей и чем большее число разных деталей требует обработки, тем большей гибкостью должен обладать станок или соответствующий набор станочного оборудования. Гибкость характеризуют двумя показателями — универсальностью и переналаживаемостью.

Универсальность определяется числом разных деталей, подлежащих обработке на данном станке, т. е. номенклатурой I обрабатываемых деталей. При этом следует иметь в виду, что отношение годового выпуска N к номенклатуре I определяет серийность изготовления

$$S = N / I \quad (17)$$

Целесообразная гибкость оборудования связана с номенклатурой обрабатываемых деталей (рисунок 6).

Переналаживаемость определяется потерями времени и средств на переналадку станочного оборудования, при переходе от одной партии заготовок к другой партии. Таким образом, переналаживаемость является показателем гибкости оборудования и зависит от числа P партий деталей, обрабатываемых на данном оборудовании в течение года.



1 — автоматические линии; 2 — переналаживаемые автоматические линии; 3 — гибкие станочные системы; 4 — станочные модули и станки с ЧПУ; 5 — станки с ручным управлением

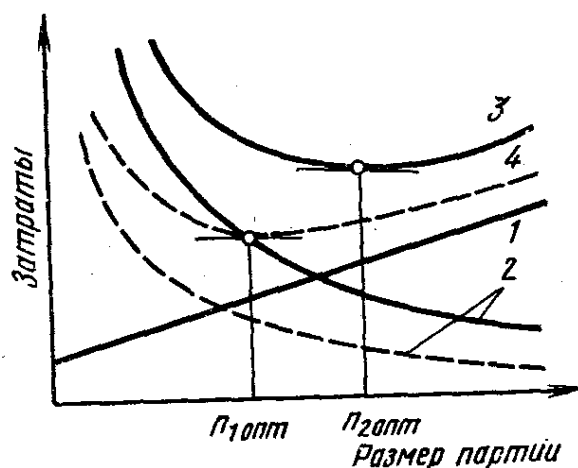
Рисунок 6 - Примерные области использования станочного оборудования различной универсальности

При этом средний размер партии

$$P = N / P \quad (18)$$

связан с характером производства и с переналаживаемостью оборудования.

Для каждого вида станочного оборудования существуют вполне определенные затраты на каждую переналадку (рисунок 7). С увеличением числа деталей в партии общие затраты на переналадку снижаются, но при этом увеличиваются затраты на хранение деталей, которые не сразу идут в дальнейшую работу, например, на сборку, а создают незавершенное производство. Таким образом, для каждого вида станочного оборудования с его переналаживаемостью существует оптимальный размер партии обрабатываемых деталей. Чем меньше оптимальный размер партии, тем большей гибкостью обладает станочное оборудование. Применение средств вычислительной техники для управления станками, оснащение их манипуляторами и устройствами ЧПУ позволили существенно повысить гибкость оборудования при высокой степени автоматизации.



1 — затраты на незавершенную продукцию; 2 — затраты на переналадку;
3,4 — суммарные затраты

Рисунок 7 - Оптимизация размера партии в зависимости от гибкости оборудования

3.5 Точность

Точность станка в основном предопределяет точность обработанных на нем изделий. По характеру и источникам возникновения все ошибки станка, влияющие на погрешности обработанной детали, условно разделяют на несколько групп.

Геометрическая точность зависит от ошибок соединений и влияет на точность взаимного расположения узлов станка при отсутствии внешних воздействий. Геометрическая точность зависит главным образом от точности изготовления соединений базовых деталей и от качества сборки станка. На погрешности в расположении основных узлов станка существуют нормы; соответствие этим нормам проверяют для нового станка и периодически при его эксплуатации. Нор-

мы на допустимые для данного станка геометрические погрешности зависят от требуемой точности изготовления на нем деталей.

Кинематическая точность необходима для станков, в которых сложные движения требуют согласования скоростей нескольких простых. Нарушение согласованных движений нарушает правильность заданной траектории движения инструмента относительно заготовки и искажает тем самым форму обрабатываемой поверхности. Особое значение кинематическая точность имеет для зубообрабатывающих, резьбонарезных и других станков для сложной контурной обработки.

Жесткость станков характеризует их свойство противостоять появлению упругих перемещений под действием постоянных или медленно изменяющихся во времени силовых воздействий. Жесткость — отношение силы к соответствующей упругой деформации δ в том же направлении

$$j = F/\delta \quad (19)$$

Величину, обратную жесткости, называют податливостью

$$c = 1/j = \delta/F \quad (20)$$

Податливость сложной системы из набора упругих элементов, работающих последовательно, равна сумме податливостей этих элементов:

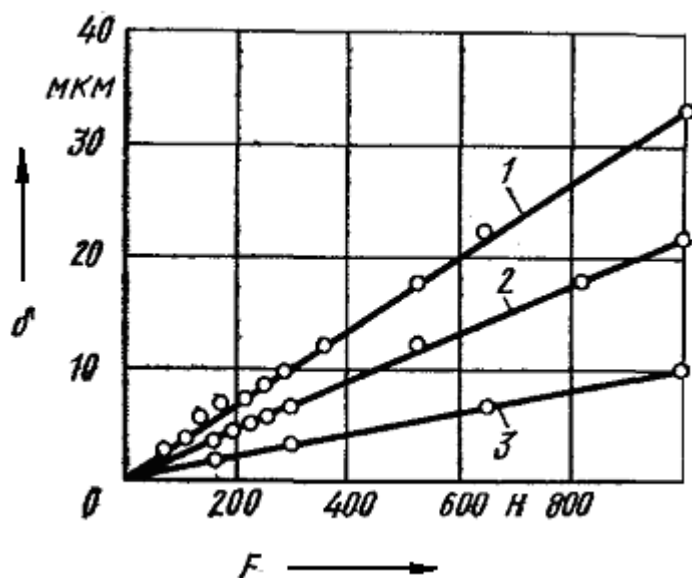
$$c_0 = \sum_{i=1}^n c_i \quad (21)$$

Жесткость станка, его несущей системы должна обеспечить упругое перемещение между инструментом и заготовкой в заданных пределах, зависящих от требуемой точности обработки. Жесткость и соответственно податливость базовых деталей станка из чугуна или стали подчиняются закону Гука и для каждой детали есть величина постоянная. Жесткость большинства соединений, таких, как неподвижные стыки, направляющие, подшипники качения и скольжения, не является постоянной вследствие отсутствия прямой пропорциональности между силой и упругим перемещением. В этом случае жесткость следует понимать как отношение приращения силы к соответствующему приращению перемещения

$$j = dF / d\delta \quad (22)$$

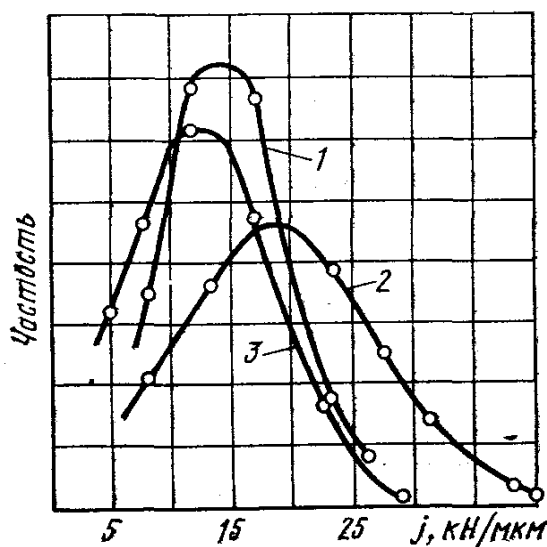
Жесткость несущих систем станков при большом числе упругих деталей и соединений между ними обычно близка к постоянному значению (рисунок 8). Жесткость же отдельных соединений, предварительно не затянутых и имеющих зазоры, существенно нелинейна и зависит от характера приложения силы. Кроме того, жесткость соединений зависит от случайных изменений рельефа контактирующих поверхностей в первую очередь от шероховатости и волнистости. В свя-

зи с этим жесткость соединений и жесткость сложных деталей, изменяющаяся из-за изменения, например, толщины стенок, могут влиять на разброс значений жесткости даже одинаковых станков (рисунок 9). На общую жесткость станков большое влияние оказывают соединения инструмента и заготовки с соответствующими узлами станка, поскольку эти соединения типа конусов, кулачков патрона, центровых отверстий имеют небольшую жесткость. Для повышения общей жесткости станка целесообразно выявлять элементы с пониженной жесткостью и затем принимать меры к ее повышению до уровня жесткости других последовательно нагруженных упругих звеньев.



1 — упругие перемещения резца относительно заготовки; 2 — перемещения конца шпинделя; 3 — упругие перемещения стола и станины

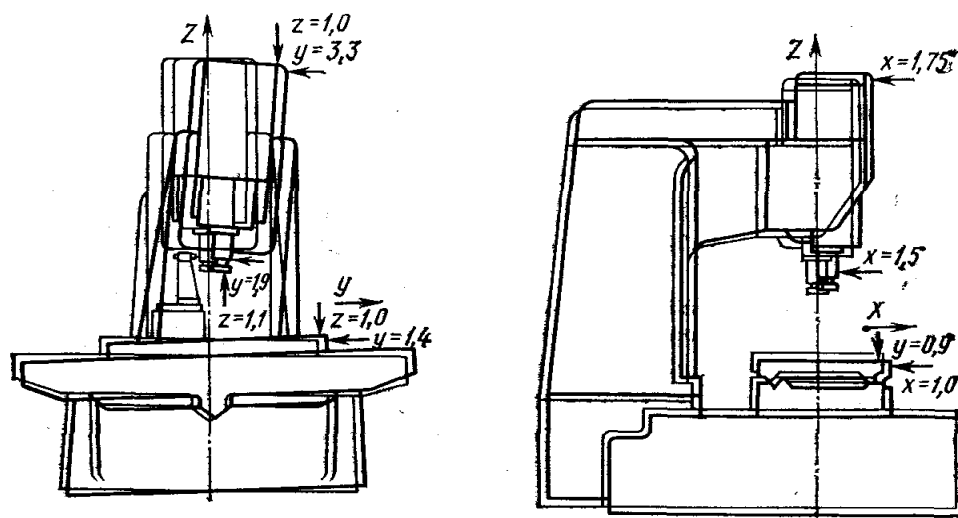
Рисунок 8 - Жесткость несущей системы станка



1- у переднего центра; 1-в середине рабочего пространства; 3 - у заднего центра

Рисунок 9 - Жесткость токарного станка по результатам испытания 25 токарных станков

Виброустойчивость станка или динамическое его качество определяет его способность противодействовать возникновению колебаний (рисунок 10), снижающих точность и производительность станка. Наиболее опасны колебания инструмента относительно заготовки. Вынужденные колебания возникают в упругой системе станка из-за неуравновешенности вращающихся звеньев привода и роторов электродвигателей, из-за периодических погрешностей в передачах и от внешних периодических возмущений. Особую опасность при вынужденных колебаниях представляют резонансные колебания, возникающие при совпадении частоты внешних воздействий с частотой собственных колебаний одного из упругих звеньев станка.



x, y, z — амплитуды колебаний, мкм
Рисунок 10 - Формы колебаний станка

Автоколебания или самовозбуждающиеся колебания связаны с характером протекания процессов резания и трения в подвижных соединениях. В условиях потери устойчивости возникают колебания, которые поддерживаются внешним источником энергии от привода станка.

Параметрические колебания имеют место при периодически изменяющейся жесткости, например, при наличии шпоночной канавки на вращающемся валу. Возникающие при этом колебания сходны с вынужденными колебаниями.

Низкочастотные фрикционные колебания наблюдаются при перемещении узлов станка недостаточно жестким приводом в условиях трения скольжения. В этих случаях непрерывное движение узла может при определенных условиях превратиться в прерывистое с периодически чередующимися скачками и остановками.

Колебания в упругой системе станка возникают также во время переходных процессов, обусловленных пуском, остановкой, резким изменением режима работы.

Основные пути повышения виброустойчивости станков: устранение источников периодических возмущений; подбор параметров упругой системы для обеспечения устойчивости; повышение демпфирующих свойств; применение сис-

тем автоматического управления уровнем колебаний.

Теплостойкость станка характеризует его сопротивляемость возникновению недопустимых температурных деформаций при действии тех или иных источников теплоты. К основным источникам теплоты относятся процесс резания, двигатели, подвижные соединения, особенно при значительных скоростях относительного движения. При постоянно действующем источнике теплоты нагрев и температурное смещение изменяются с течением времени по экспоненте

$$\delta_t = \delta_0 (1 - e^{-\alpha \cdot \tau}), \quad (23)$$

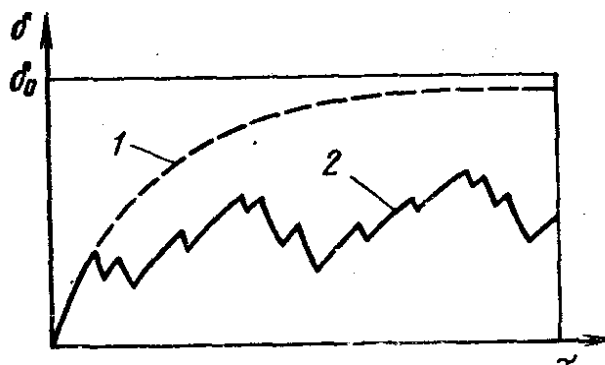
где τ — время;

α — коэффициент, зависящий от материала и конструкции;

$\delta_0 = \delta_t$ при $\tau \rightarrow \infty$.

При чередующихся с паузами периодах работы изменения температурных смещений носят случайный характер (рис.11), что усложняет применение различных методов компенсации температурных погрешностей.

Точность позиционирования характеризуется ошибкой вывода узла станка в заданную позицию по одной или нескольким координатам. На точность позиционирования влияет большое число систематических и случайных погрешностей. Стабильность позиционирования определяют зоной рассеяния (дисперсией) положений узла станка при его подводе к определенному положению с одного и того же направления. Ошибку перемещения характеризуют систематической составляющей при фиксированном направлении подвода. Зоной нечувствительности называют разность ошибок положения узла при подводе его к заданной точке с разных сторон.



1 - при постоянном источнике нагрева; 2 - при чередующихся периодах включения и выключения источника нагрева

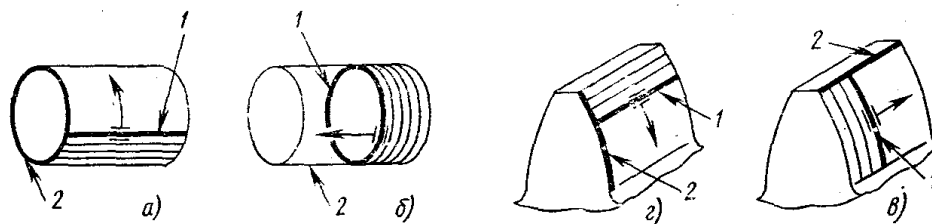
Рисунок 11 - Температурные смещения

Точность позиционирования является важной характеристикой качества всех станков с числовым программным управлением. Если известна характеристика точности позиционирования для данного конкретного станка, то ее можно уточнить при отработке управляющей программы.

4 Формообразование на станках

Тело любой детали есть замкнутое пространство, ограниченное реальными геометрическими поверхностями, которые образованы в результате обработки тем или иным способом (литьем, штамповкой, резанием и т. д.). При этом какой бы способ обработки ни был применен, реальные поверхности детали всегда отличаются от идеальных геометрических поверхностей, которыми мы мысленно оперируем при конструировании. Поверхности, полученные на металлорежущих станках резанием, отличаются от идеальных формой, размерами и шероховатостью. Теоретически процесс формирования реальных поверхностей на станках аналогичен процессу образования идеальных поверхностей в геометрии, т. е. базируется на идеальных геометрических представлениях.

Любую поверхность можно представить как след движения одной линии (образующей) по другой (направляющей). Обе эти линии называют производящими, причем образующая может быть направляющей, и наоборот. Например, круговая цилиндрическая поверхность может быть представлена как след движения прямой линии по окружности (рисунок 12, а) или след движения окружности по прямой (рисунок 12, б). Боковую поверхность зуба прямозубого цилиндрического колеса можно рассматривать как след движения



1 — образующая производящая линия; 2 — направляющая производящая линия

Рисунок 12 - Образование поверхностей:

эвольвенты вдоль прямой линии (рисунок 12, в) или след движения прямой по эвольвенте (рисунок 12, г). Таким образом, с геометрической точки зрения процесс образования поверхности сводится к осуществлению движения одной производящей линии по другой.

Производящие линии на станках образуются материальными точками и линиями режущей кромки инструмента за счет согласованных относительных движений заготовки и инструмента. Причем следует подчеркнуть, что почти все производящие линии на станках непрерывно образуются (имитируются) в течение всего времени формирования поверхности. В процессе непрерывной имитации обеих производящих линий и формируется с помощью резания требуемая поверхность.

Согласованные относительные движения заготовки и режущего инструмента, которые непрерывно создают производящие линии, а следовательно, поверхность заданной формы в целом, называют *формообразующими* (рабочими) и обозначают буквой Φ . В зависимости от формы производящей линии и метода ее образования движения формообразования могут быть простыми и сложными. К

простым движениям формообразования относят вращательное, которое обозначают $\Phi(\mathbf{B})$, и прямолинейное — $\Phi(\Pi)$.

Сложными формообразующими движениями являются те, траектории которых образуются в результате согласованности взаимозависимых двух и более вращательных или прямолинейных движений, а также их сочетаний. Примеры условной записи сложных формообразующих движений: $\Phi(\mathbf{B}_1\mathbf{B}_2)$, $\Phi(\mathbf{B}_1\Pi_2\Pi_3)$ и т.д. Запись двух и более простых движений в одних общих скобках говорит о том, что они зависят друг от друга и тем самым создают единое сложное движение.

4.1 Методы образования производящих линий

При обработке поверхностей резанием в зависимости от вида режущего инструмента и формы его режущей кромки используют четыре метода образования производящих линий; копирование, обкат, след и касание. Сущность этих методов рассмотрим на примере образования дуги окружности и выявим число и характер формообразующих движений для осуществления каждого метода.

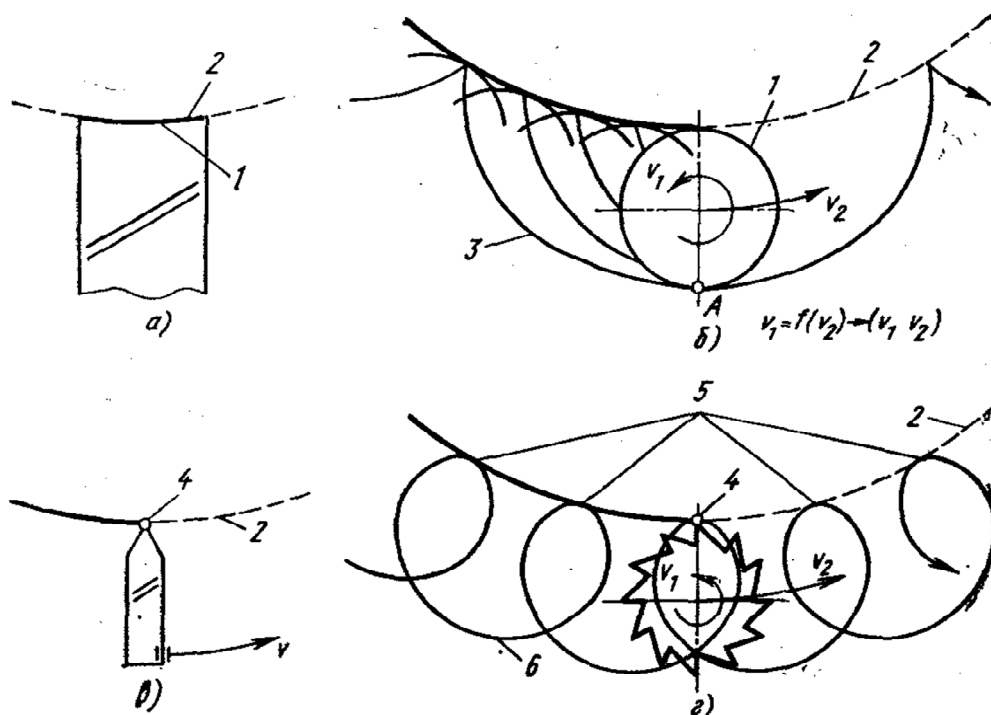
Метод копирования (рисунок 13, а) состоит в том, что форма производящей линии получается в виде копии (отпечатка) формы режущей кромки инструмента или его профиля. Другими словами, формы образуемой производящей линии и режущей кромки инструмента совпадают (идентичны). Этот метод применяют в тех случаях, когда для получения производящих линий используют фасонный режущий инструмент. В связи с тем, что форма образуемой производящей линии уже заложена непосредственно в режущем инструменте, для получения производящей линии методом копирования не требуется никакого формообразующего движения.

Метод обката (рисунок 13, б) заключается в том, что форма образуемой производящей линии возникает в виде огибающей ряда последовательных положений, занимаемых режущей кромкой инструмента при обкатывании ею без скольжения образуемой линии. В процессе получения производящей линии либо режущая кромка инструмента катится по образуемой ею же линии, либо они взаимно обкатываются. Другими словами, образуемая производящая линия и линия режущей кромки инструмента должны быть взаимноогибаемыми. Для получения производящей линии методом обката требуется одно, но всегда сложное формообразующее движение — движение обката (качения).

Метод следа (рисунок 13, в) состоит в том, что форма производящей линии получается в виде следа режущей точки (практически это весьма короткий отрезок линии) кромки инструмента при относительном движении заготовки и инструмента. Поэтому для получения производящей линии методом следа необходимо одно простое или сложное формообразующее движение (в зависимости от формы образуемой линии).

Метод касания (рисунок 13, г) заключается в том, что форма производящей линии возникает в виде огибающей мест касания множества режущих точек вращающегося инструмента в результате относительных движений оси вращения инструмента (шпинделя) и заготовки. Этот метод характерен при образовании производящих линий с участием таких инструментов, как фрезы и шлифовальные

круги, имеющих множество режущих точек, а следовательно, точек касания, формирующих траекторию образуемой производящей линии. Для получения производящей линии методом касания требуется два, реже три формообразующих движения.



1 — линия режущей кромки инструмента; 2 — образуемые производящие линии; 3 — траектория движения точки А режущей кромки инструмента; 4 — режущая точка инструмента; 5 — точки касания образуемой производящей линии режущей точкой 4 инструмента; 6 — траектория режущей точки 4 инструмента; v_1, v_2 — относительные скорости

Рисунок 13 - Методы образования производящих линий

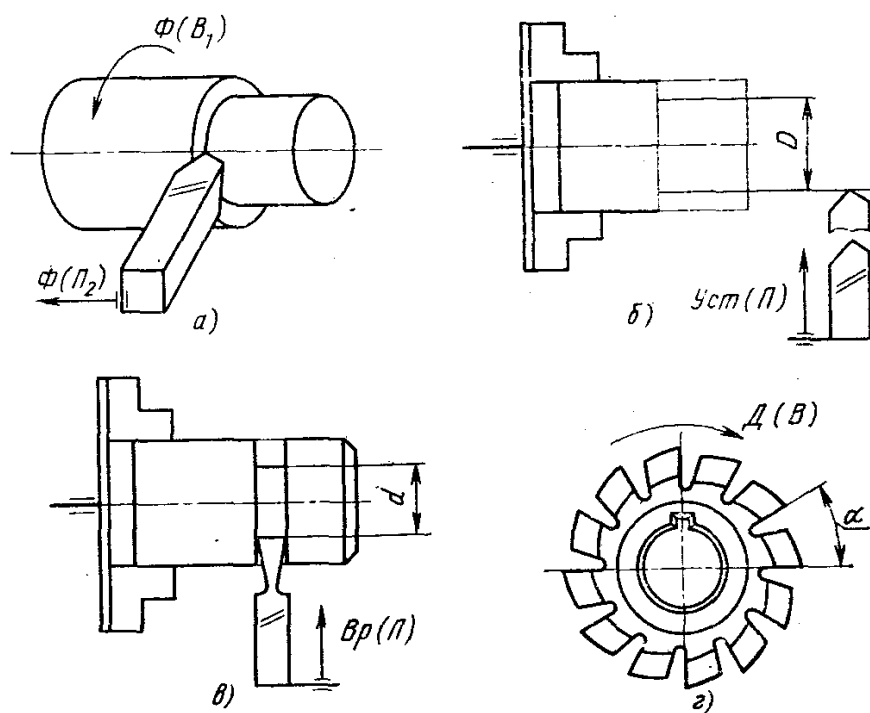
4.2 Образование поверхностей

Процесс образования поверхностей резанием состоит в том, что за счет согласованных относительных движений заготовки и инструмента непрерывно образуются обе производящие линии при одновременном относительном их перемещении. Каждая производящая линия образуется одним из указанных выше четырех методов, поэтому образование поверхностей характеризуется сочетанием двух из четырех методов образования производящих линий, причем это может быть сочетание одноименных методов. Например, при образовании круговой цилиндрической поверхности с помощью резца обе производящие линии (окружность и прямая) получаются одним и тем же методом — методом следа (рисунок 14, а). В общем случае число движений формообразования для создания поверхности определяется суммой движений формообразования, необходимых для образования обеих производящих линий. Однако нередко встречаются случаи, когда одно вращательное движение одновременно участвует в создании обеих производящих линий, необходимых для образования поверхности, т. е. вращательное

движение выполняет сразу две функции. Существуют две формы участия вращательного движения в одновременном образовании обеих производящих линий:

1) вращательное движение по отношению к каждой из двух производящих линий выступает как отдельно взятое движение формообразования, например, вращательное движение фрезы при обработке штампов, и пресс-форм концевыми фрезами со сферическим режущим концом;

2) вращательное движение, участвующее в процессе образования поверхности, по отношению к одной производящей линии выступает в роли формообразующего движения, а по отношению к другой является составной частью сложного формообразующего движения, необходимого для образования второй производящей линии, например, вращательное движение фрезы при обработке цилиндрических колес червячными фрезами. Во всех подобных случаях общее число формообразующих движений при формировании поверхностей резанием становится меньше на единицу по отношению к теоретически подсчитанной сумме и практически не превышает трех. Поэтому металлорежущие станки бывают с одним, двумя или тремя движениями формообразования.



а - формообразования; б - установочное; в - врезания; г - деления

Рисунок 14 - Исполнительные движения

Так как в металлорежущих станках образование поверхностей осуществляется резанием, то все формообразующие движения станка одновременно являются движениями резания. Причем если в станке имеется одно движение формообразования, то оно является движением скорости резания (обозначается Φ_V). Если в станке есть два движения формообразования, то одно из них, имеющее большую скорость, является движением скорости резания Φ_V , а второе, имеющее меньшую скорость, является движением подачи (обозначается Φ_S).

Из трех движений формообразования в станке одно будет движением скорости резания Φ_V , имеющим наибольшую скорость, а два других — движениями подачи Φ_{S1} и Φ_{S2} .

5 Кинематическая структура станков

5.1 Классификация движений в станках

Все движения в станках, в том числе и формообразующие, называются исполнительными. По целевому признаку их можно разделить на движения: формообразования Φ , установочные $Уст$, деления $Д$, управления $Упр$, вспомогательные $Всп$ (определение формообразующих движений дано выше).

Установочными называют движения заготовки и инструмента, необходимые для перемещения их в такое относительное положение, при котором становится возможным с помощью формообразующих движений получать поверхности требуемого размера. Примером установочного движения является поперечное движение $Уст$ (П) резца для установления его в положение, позволяющее получить круговой цилиндр требуемого диаметра D (рисунок 14, б). Иногда установочное движение, при котором отсутствует резание, называют наладочным.

Если при установочном движении происходит резание материала, то такое движение называют движением *врезания* (обозначается $Вр$). Например, поперечное перемещение резца для образования канавки требуемого диаметра a (рисунок 14, в) будет движением врезания $Вр$ (П). Иногда движение врезания по своей структуре может совпадать с движением формообразования или осуществляться одновременно с ним.

Делительными называют движения, необходимые для обеспечения равномерного расположения на заготовке одинаковых образуемых поверхностей. Например, при нарезании двухзаходной резьбы фасонным резцом после нарезания одной винтовой канавки требуется повернуть заготовку на 180° для нарезания второй винтовой канавки. Поворот заготовки на 180° и будет делительным движением. Движением деления будет также движение $Д$ (В) поворота дисковой фрезы на угол a при затыловании ее зубьев (рисунок 14, г).

Делительные движения могут быть периодическими или непрерывными, что зависит в основном от конструкции режущего инструмента. Непрерывные делительные движения по своей структуре совпадают с одним из формообразующих движений, которое выполняет одновременно процессы формообразования и деления.

К вспомогательным движениям относятся движения, обеспечивающие установку, зажим, освобождение, транспортирование, быстрое перемещение заготовки и режущего инструмента в зону резания, охлаждение, смазывание, удаление стружки, правку инструмента и т. п.

К движениям управления относят те, которые совершают органы управления, регулирования и координирования всех других исполнительных движений станка. К таким органам относятся муфты, реверсирующие устройства, кулачки, ограничители хода и др.

Определяющую роль в формировании кинематической структуры станка играют движения формообразования, установочные (врезания) и деления.

Любое исполнительное движение в станке можно охарактеризовать пятью пространственными параметрами: траекторией, скоростью, направлением, путем и исходной точкой. Наиболее важными параметрами любого движения являются траектория и скорость.

В зависимости от характера исполнительного движения, формы его траектории, схемы резания, вида и конструкции режущего инструмента движение теоретически можно настраивать по двум, трем, четырем или пяти параметрам. Наибольшее число параметров настройки может потребоваться лишь сложному движению с незамкнутой траекторией. По четырем параметрам (за исключением настройки на траекторию) осуществляется настройка простого движения с незамкнутой траекторией, по трем параметрам (на траекторию, скорость и направление) — сложное движение с замкнутой траекторией.

5.2 Кинематическая группа

Каждое исполнительное движение в станках осуществляется кинематической группой, представляющей собой совокупность источника движения, исполнительного органа (органов), кинематических связей и органов настроек, обеспечивающих требуемые параметры движения. Название кинематической группы аналогично названию создаваемого ею исполнительного движения. Например, группу, создающую формообразующее движение, называют формообразующей группой и т. п.

Структура кинематической группы может быть разнообразной и зависит от характера осуществляемого движения, числа исполнительных органов, потребности регулирования параметров движения.

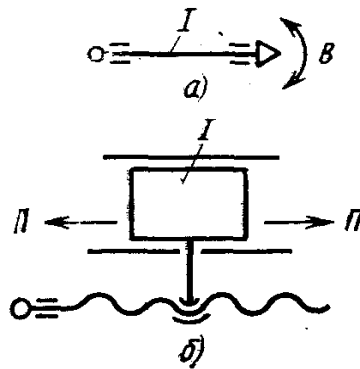
Под исполнительными органами понимают подвижные конечные звенья кинематической группы, непосредственно участвующие в образовании траектории исполнительного движения. Исполнительные органы, осуществляющие абсолютное или относительное движение заготовки или режущего инструмента в процессе формообразования, называют рабочими. Например, рабочими органами являются такие звенья станка, как стол, шпиндель, суппорт, ползун и т. п.

В большинстве случаев исполнительные органы совершают вращательное или прямолинейное движение, т. е. являются подвижными звеньями вращательной или поступательной исполнительной кинематической пары (рисунок 15).

В зависимости от числа исполнительных органов кинематические группы делятся на простые и сложные. Простые группы имеют один исполнительный орган, а сложные — два и более исполнительных органов.

Любая кинематическая группа включает в себя два качественно различных вида кинематической связи — внутреннюю и внешнюю.

Под кинематической связью в станках понимают такую связь между звеньями или исполнительными органами станка, которая накладывает условия ограничения, не позволяющие занимать произвольные положения в пространстве относительно друг друга и иметь произвольные скорости.

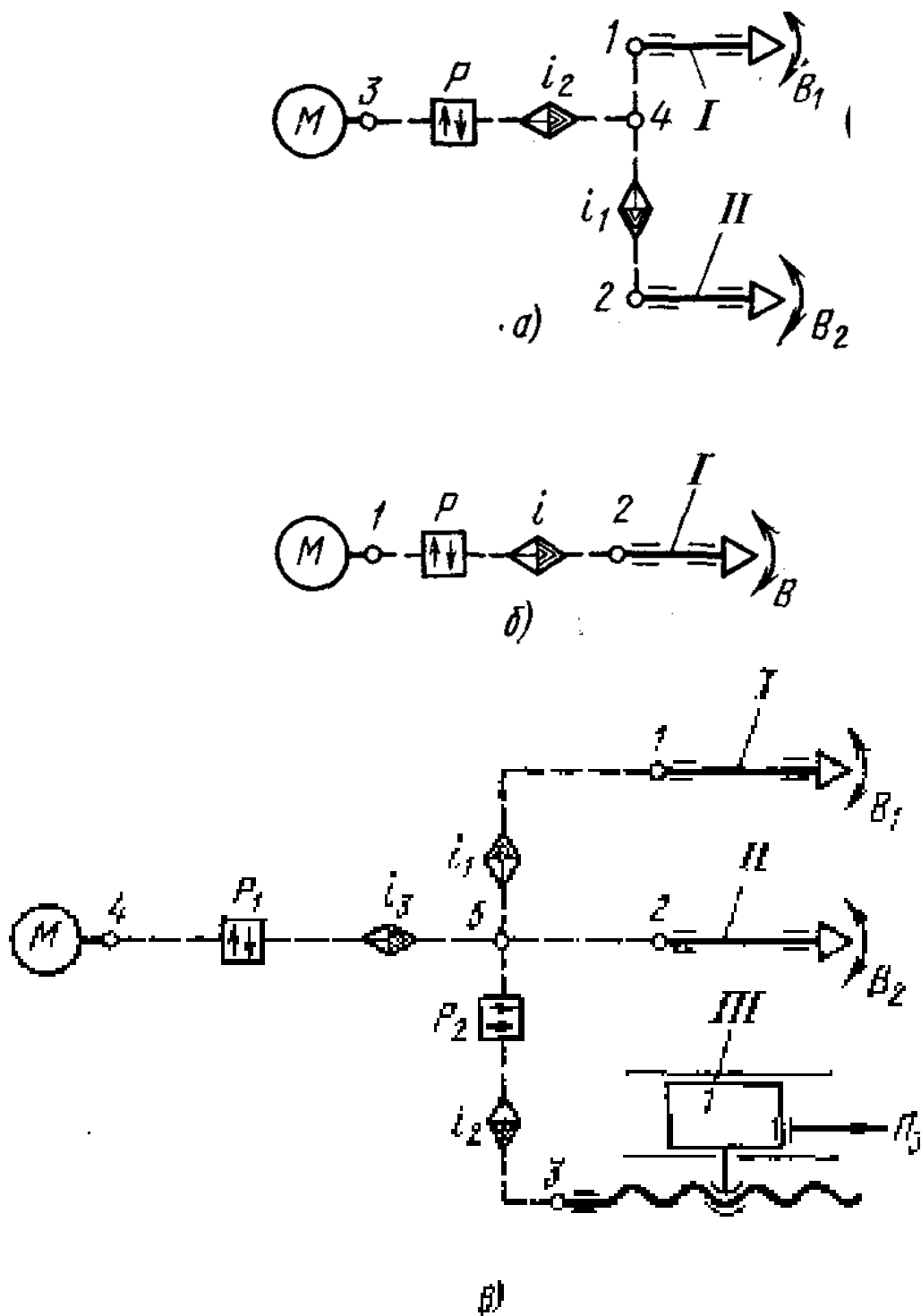


а — вращательная; б — поступательная
Рисунок 15 - Исполнительные кинематические пары

Под *внутренней* кинематической связью группы понимают совокупность кинематических звеньев и их соединений, обеспечивающих качественную характеристику движения, т. е. его траекторию. Внутренняя кинематическая связь группы в станках реализуется разными путями в зависимости от характера исполнительного движения, числа исполнительных органов в группе, требуемой точности образуемой производящей линии (траектории движения) и других факторов. Например, в простых кинематических группах она осуществляется соединением двух соприкасающихся звеньев исполнительной группы, одним из которых является сам исполнительный орган I группы, т. е. шпиндель, стол (рисунок 15, а), ползун (рисунок 15, б) и т. д.

В сложных кинематических группах с двумя и более исполнительными органами внутренняя кинематическая связь реализуется в виде кинематической цепи (цепей), связывающей подвижные исполнительные органы группы и обеспечивающей строгую функциональную согласованность их перемещений или скоростей. Эти цепи называют внутренними или функциональными. Причем кинематическое соединение исполнительных органов сложной группы может быть как механическим, т. е. цепью механических передач, так и немеханическим, например, в виде электрической цепи, как в станках с ЧПУ. Необходимое минимальное число внутренних кинематических цепей в сложной группе не должно быть меньше, чем на единицу числа исполнительных органов. Например (рисунок 16, а), группа, обеспечивающая сложное движение ($\mathbf{V}_1\mathbf{V}_2$) и имеющая два исполнительных органа I и II, должна содержать в своей структуре, как минимум, одну внутреннюю кинематическую цепь 1—4—2 между исполнительными органами.



Под *внешней* кинематической связью группы понимают совокупность кинематических звеньев и их соединений, обеспечивающих количественные характеристики движения, т. е. его скорость, направление, путь и исходную точку. Обычно внешняя кинематическая связь сложной группы реализуется в виде кинематической цепи 3—4 между источником движения M и одним из звеньев внутренней связи группы. Для простой кинематической группы внешняя кинематическая связь есть цепь 1—2 между источником движения M и исполнительным органом группы I (рисунок 16, б). Внешняя кинематическая связь предназначена для передачи энергии от источника движения M во внутреннюю связь группы.



а — сложной с двумя исполнительными органами; б — простой; в — сложной с тремя исполнительными органами

Рисунок 16 - Структурные схемы кинематических групп:

На рисунке 16, в показана структурная схема кинематической группы, обеспечивающей исполнительное движение ($B_1 B_2 \Pi_3$) и имеющей три исполнительных органа. Для обеспечения функциональной согласованности перемещений или скоростей исполнительных органов **I**, **II**, **III** достаточно двух функциональных кинематических цепей, например, 1—5—2 и 2—5—3 или другого их сочетания. Внешняя кинематическая связь группы реализуется кинематической цепью 4—5.

Для изменения и регулирования параметров движения в станках используют специальные устройства, которые в общем случае называются органами настройки. Органы настройки таких параметров движения, как траектория, скорость и иногда путь, на структурных схемах обозначают знаком  буквой *i*, а орган настройки направления движения — знаком . Заштрихованная часть знака



указывает на фактическое направление передачи движения через орган настройки. Органы настройки движения на исходную точку и в большинстве случаев на путь в структурных схемах не показывают, так как регулирование этих параметров обычно осуществляется вручную.

Органы настройки, регулирующие количественные характеристики движения, т. е. изменяющие скорость, направление, путь и исходную точку, всегда располагают во внешней связи кинематической группы (в цепи между источником движения и внутренней кинематической связью группы).

Органы настройки, регулирующие качественную характеристику движения, т. е. его траекторию, располагают только во внутренней кинематической связи группы. Причем в простых кинематических группах, имеющих один исполнительный орган и обеспечивающих вращательное или прямолинейное движение, необходимость в органе настройки на траекторию отсутствует. Это связано с тем, что траектория движения в таких группах неизменна и обеспечивается характером соединения звеньев исполнительной кинематической пары, одним из которых является сам исполнительный орган.

Сложные кинематические группы всегда имеют органы настройки на траекторию. Таких органов может быть несколько, но не меньше числа внутренних кинематических цепей в группе. Например, если группа имеет две внутренние кинематические цепи, то органов настройки на траекторию должно быть, как минимум, два, т. е. по органу настройки на каждую внутреннюю кинематическую цепь.

5.3 Кинематические структуры станков и их классификация

Кинематическая структура станка представляет собой совокупность кинематических групп. Группы могут быть соединены между собой разными способами; их соединение зависит от многих факторов. Наибольшее влияние на соединение кинематических групп оказывают общность их исполнительных органов и источника движения, а также необходимость координации во времени создаваемых группами движений. Всякое соединение двух кинематических групп осуществляется специальными дополнительными устройствами, такими, как суммирующие механизмы, реверсы, муфты и т. д.

Главной и определяющей частью кинематической структуры любого станка является его формообразующая часть, составляющая общее число и характер групп формообразования, а также их кинематическое соединение. По этому признаку все многообразие кинематических структур металлорежущих станков можно разделить на три класса:

1. Класс элементарных структур Э, к которому относятся станки с кинема-

тической структурой, содержащей только простые группы формообразования, т. е. группы, создающие движение $\Phi(B)$ и $\Phi(\Pi)$.

2. Класс сложных структур **C**, к которому относятся станки с кинематической структурой, содержащей только сложные группы формообразования, т. е. группы, создающие движения $\Phi(B_1B_2)$, $\Phi(B_3\Pi_4\Pi_5)$ и т. д.

3. Класс комбинированных структур **K**, к которому относятся станки с кинематической структурой, содержащей одновременно и простые и сложные группы формообразования.

Каждый класс содержит определенное число типовых кинематических структур станков, которое можно условно записать буквой с последующими двумя цифрами. Буква указывает на класс, первая цифра — на число формообразующих групп, вторая цифра — на суммарное число простых вращательных и прямолинейных движений, составляющих все формообразующие движения станка. Например, запись **K24** означает, что станок имеет комбинированную структуру, две группы формообразования с четырьмя простыми движениями.

Если учесть, что максимально возможное число групп формообразования в структуре станка равно трем, то можно составить таблицу типовых кинематических структур всех станков (таблица 3). При составлении и анализе кинематической структуры станков следует четко представлять себе изделие в целом и те его поверхности, которые должны быть обработаны резанием. Это означает, что обработанную поверхность необходимо охарактеризовать как в поперечном, так и в продольном сечениях, т. е. установить соответствующие производящие линии, при относительном движении которых может быть образована данная поверхность.

Таблица 3 - Кинематические структуры станков

Класс структуры	Структура станка при числе групп формообразования		
	1	2	3
Элементарный	Э11	Э22	Э33
Сложный	C12 C13 C14	C24 (C25)	(C36) (C37)
Комбинированный	—	K23 K24 K25 (K26)	K34 (K35) (K36) (K37)
Примечание - В скобках указаны структуры станков, которые редко встречаются в станкостроении.			

Необходимо также отчетливо представлять себе конструкцию режущего инструмента и форму его режущих кромок, а также относительное взаимное положение обрабатываемой заготовки и инструмента в процессе формообразования требуемой поверхности.

Анализ и сопоставление форм производящих линий и режущей кромки инструмента, а также учет специфики обработки (фрезерование, шлифование и т. д.) позволяли установить метод образования поверхности, а также количество, характер и состав движений формообразования, необходимых для реализации выбранного метода. Устанавливая методы образования производящих линий, необходимо иметь в виду следующее.

1) если для обработки используют фасонный режущий инструмент (резец, фрезу, шлифовальный круг и т. д.), то первая образующая производящая линия получается методом копирования, вторая производящая линия (направляющая) методом следа или касания.

2) если поверхность фрезеруют или шлифуют при относительном перемещении заготовки или инструмента, то хотя бы одна из производящих линий образуется методом касания.

В результате анализа схемы резания, расположения обрабатываемых поверхностей и конструкции инструмента устанавливают потребность в движениях деления и врезания, и если они необходимы, то определяют их характер. После того как определены все движения формообразования, деления и врезания, которые определяют кинематику станка в основном, можно приступить к составлению и анализу структур кинематических групп, обеспечивающих эти движения.

Составление и анализ структур кинематических групп станка проводят последовательно от одной к другой в следующем порядке.

1) устанавливают число исполнительных органов; как правило, оно соответствует числу простых движений, образующих исполнительное движение.

2) определяют внутреннюю кинематическую связь группы; для простых групп - это связь между звеньями кинематической исполнительный пары, а для сложной группы - функциональные цепи (цепь) между исполнительными органами.

3) определяют источник движения и внешнюю кинематическую связь группы.

4) устанавливают число и расположение органов настройки параметров движения.

Примечания

1 Иногда исполнительные органы могут одновременно принадлежать двум или более кинематическим группам.

2 Нередко один и тот же источник движения принадлежит нескольким или всем кинематическим группам.

6 Станки токарной группы

На станках токарной группы обрабатывают детали типа валов, дисков и втулок, осуществляя обтачивание наружных цилиндрических поверхностей, тор-

цов и уступов, прорезание канавок и отрезку, растачивание отверстий (цилиндрических, конических и фасонных), обтачивание конических и фасонных поверхностей, сверление, зенкерование и развертывание отверстий, нарезание наружной и внутренней резьбы резцом, нарезание резьбы метчиком и плашкой, вихревое нарезание резьбы, накатывание рифленых поверхностей.

Главным движением, определяющим скорость резания, является вращение шпинделя, несущего заготовку. Движением, определяющим величины продольных и поперечных подач, является движение суппорта, в котором закрепляют резцы, а при обработке концевым инструментом движение подачи получает задняя бабка станка. По классификации (см. таблица 1) токарные станки относят к 1-й группе.

Традиционная компоновка токарно-винторезного станка общего назначения показана на рисунке 17. На основании 1 закреплены станина 11 и корыто 12. На станине размещены передняя бабка 3 и коробка подач 2. По направляющим станины перемещаются суппорт 6 с фартуком 9 и задняя бабка 7. Двигатель установлен в основании и закрыт кожухом.

Движение от коробки подач передается механизмам фартука или через ходовой вал 8 (при точении), или через ходовой винт 10 (при нарезании резьбы резцом). На передних стенках фартука, коробки передач и передней бабки сосредоточены рукоятки управления станком. Экран 4 и щиток 5 обеспечивают безопасность работы на станке. Основное электрооборудование станка сосредоточено в электрошкафу 13.

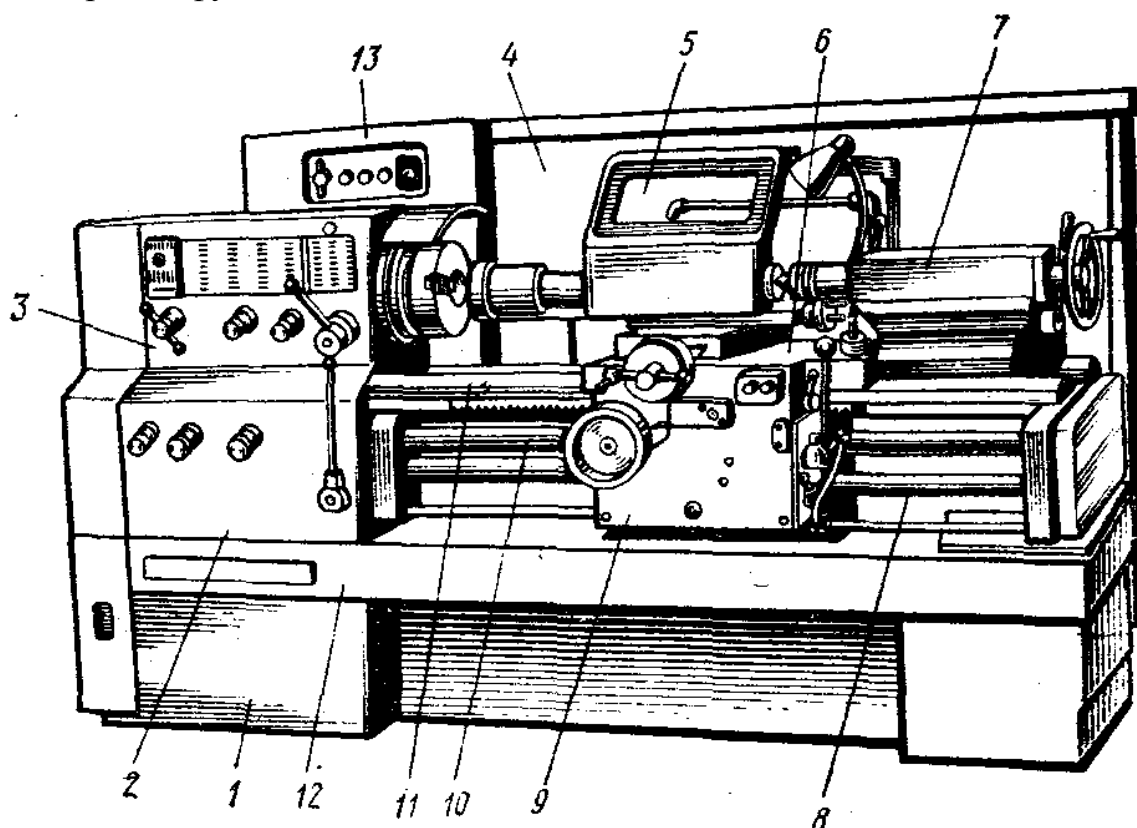


Рисунок 17 - Токарно-винторезный станок

В легких токарных станках применяют разделенный привод главного движения. В этом случае коробку скоростей устанавливают в основании станка, а в передней бабке (шпиндельной) размещают шпиндель и перебор.

Станки с числовым программным управлением имеют часто традиционную компоновку станков общего назначения такого же размера (рисунок 18). Многооперационные станки токарного типа имеют компоновки, существенно отличные от традиционной.

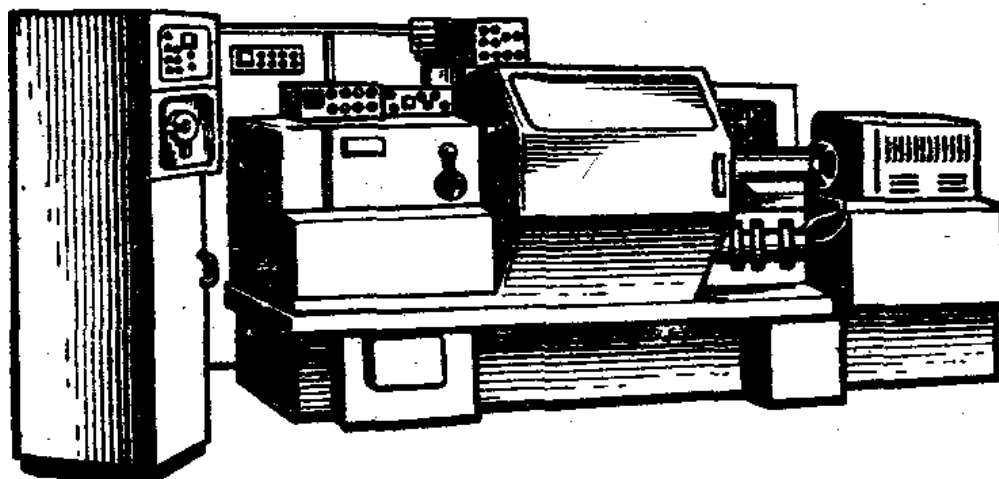


Рисунок 18 - Токарный станок с числовым программным управлением

Станины токарных станков представляют собой сложные корпусные отливки коробчатой формы; они служат для монтажа основных узлов станка.

Развертка валов передней бабки токарно-винторезного станка общего назначения приведена на рисунке 19. Изменение частот вращения шпинделя 1 осуществляется посредством групповых передач с подвижными блоками 2, 4, 5, 6. Муфта 3 предназначена для изменения направления вращения шпинделя. Она имеет два пакета фрикционных дисков. Включение левого пакета обеспечивает прямое направление вращения шпинделя.

В передней бабке расположен привод механизма подачи, содержащий звено увеличения шага и реверсивный механизм. В качестве передней опоры шпинделя использован двухрядный роликоподшипник типа 3182000 с короткими цилиндрическими роликами. Он установлен на конической шейке шпинделя с конусностью 1:12.

В качестве опор шпинделей токарных станков применяют и другие конструкции подшипников качения. На рисунке 20, а показан шпиндельный узел, в котором в качестве радиальных опор применены роликовые подшипники, а в качестве осевой опоры использован упорно-радиальный шарикоподшипник 2. Предварительный натяг в передней опоре шпинделя обеспечивается гайкой 1 и двумя дистанционными кольцами 3 и 4, размер которых определяют заранее. Таким образом, удастся одной гайкой 1 обеспечить регулирование двух подшипников.

На рисунке 20, б показан шпиндельный узел, в качестве передней и задней опор которого использованы конические роликовые подшипники, воспринимаю-

щие как радиальную, так и осевую нагрузки. Натяг в этих опорах регулируют гайками 1 и 3 и дистанционными кольцами 2 и 4. Роликовый подшипник, установленный в задней опоре шпинделя, имеет пружинную компенсацию возникающего в процессе эксплуатации зазора.

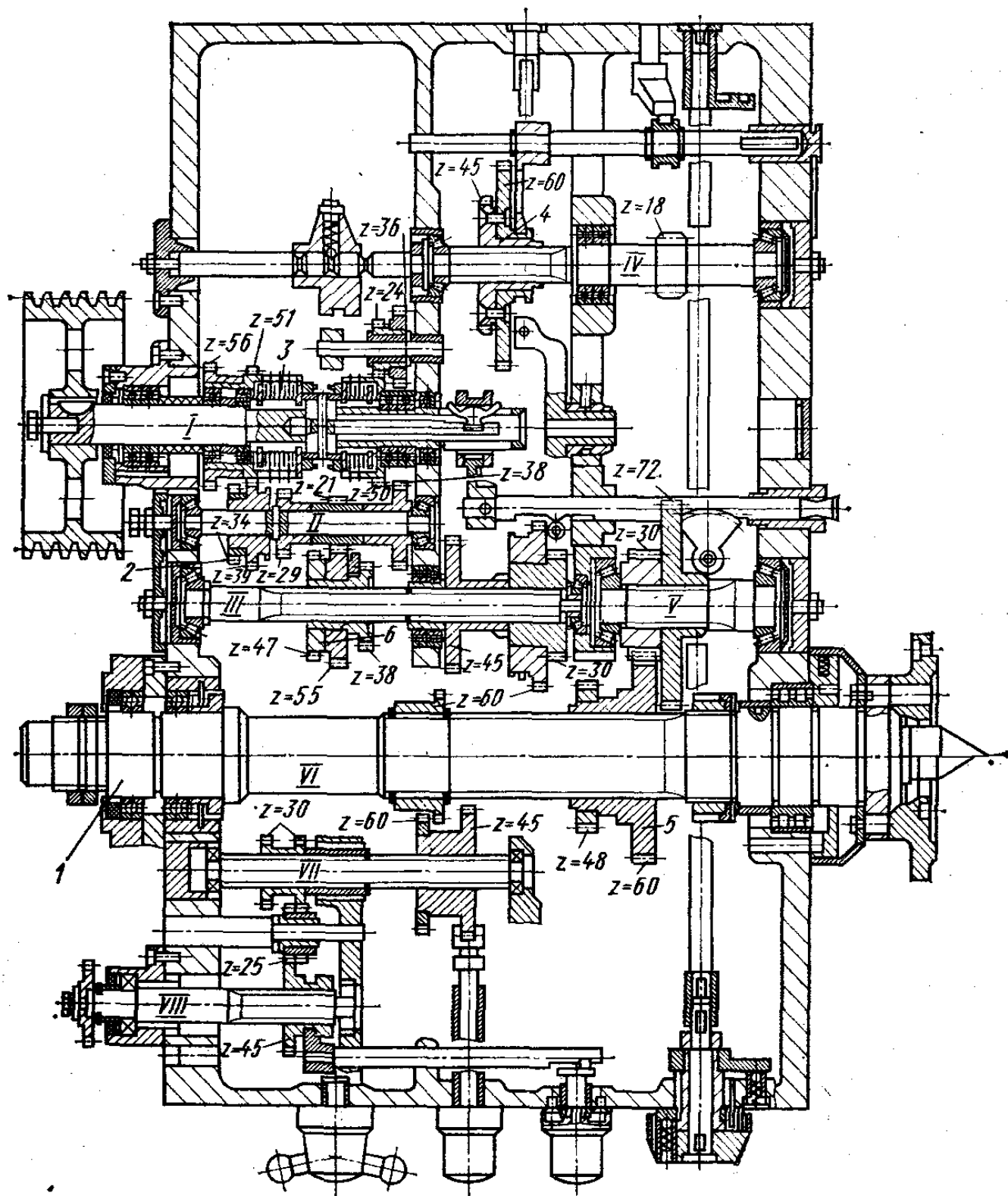
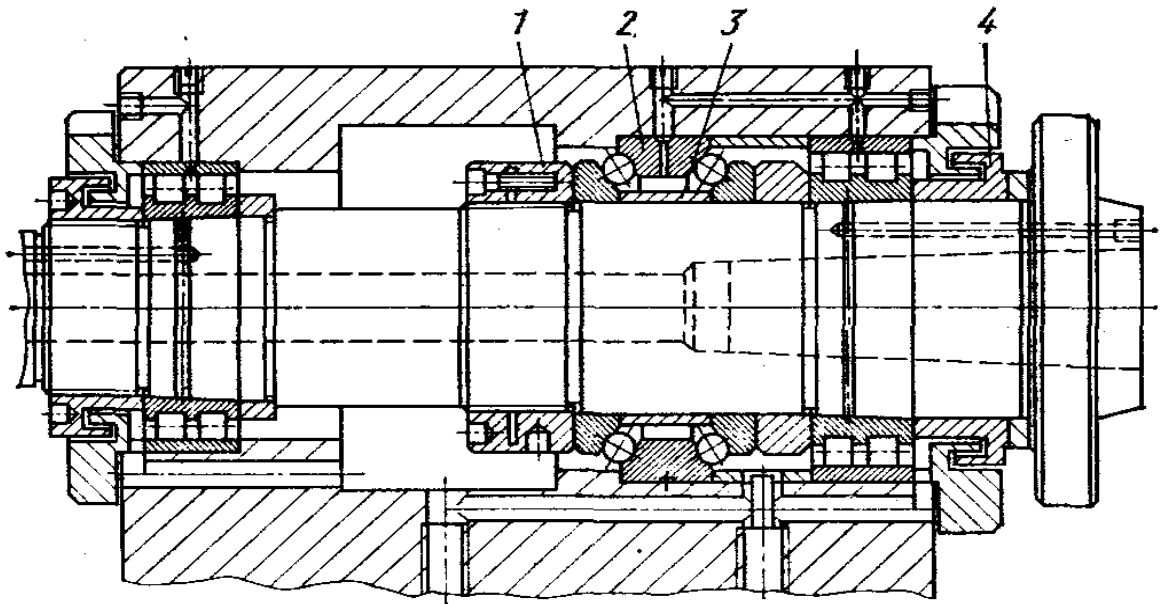
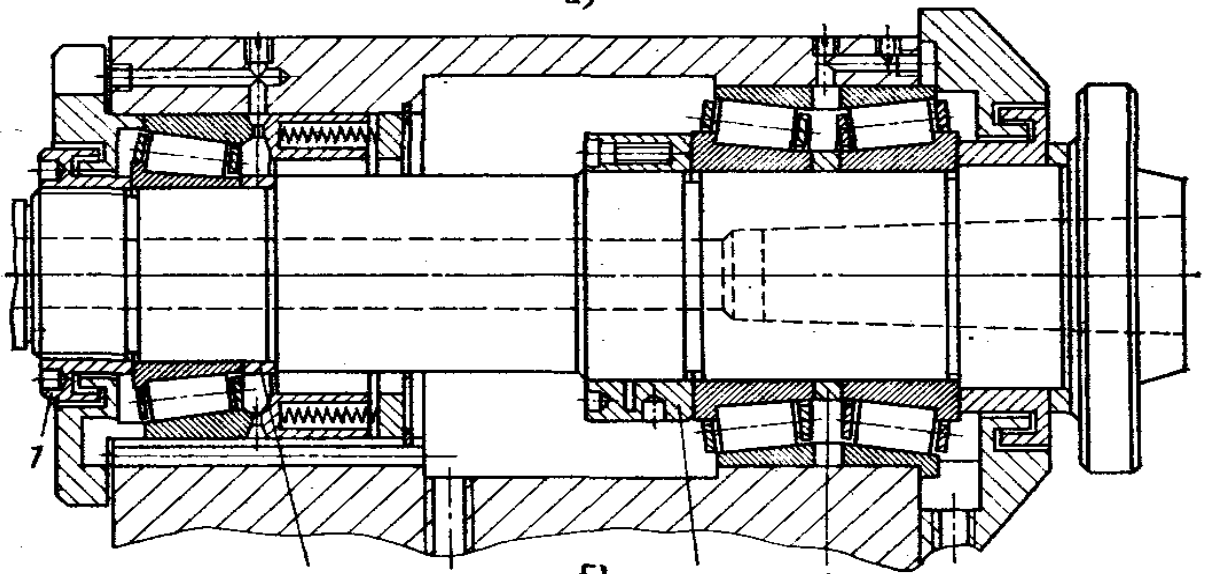


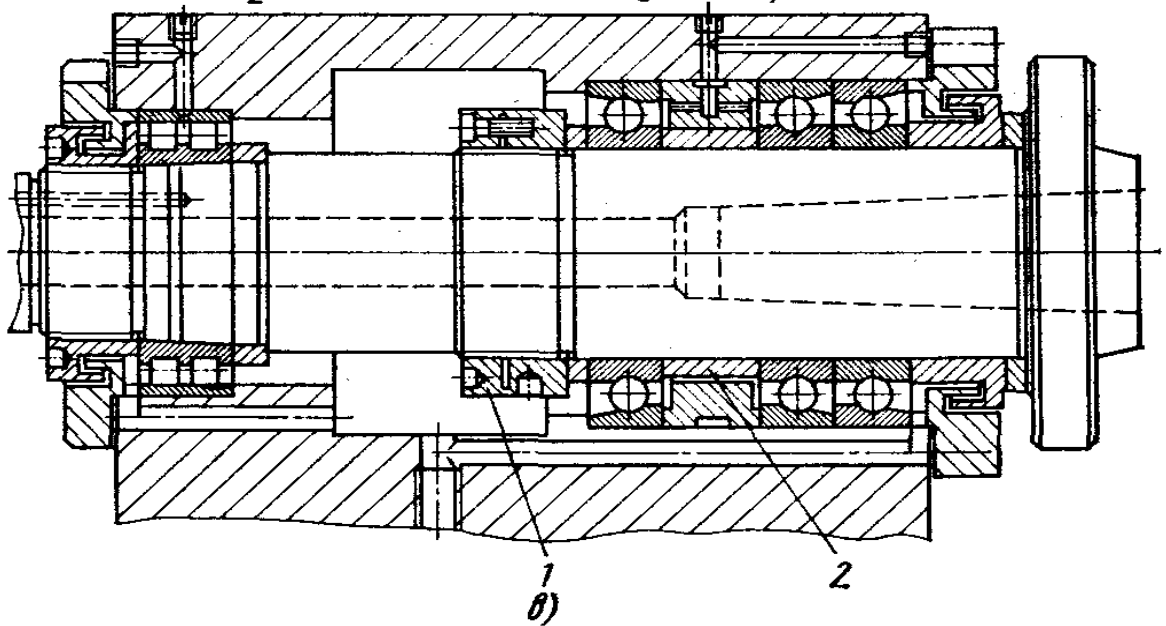
Рисунок 19 - Развертка валов передней бабки токарно-винторезного станка



a)



b)



b)

Рисунок 20 - Шпиндельные узлы токарных станков

На рисунке 20, в представлен шпиндельный узел быстроходного токарного станка, в качестве передней опоры шпинделя которого применены радиально-упорные шариковые подшипники, их натяг обеспечивается гайкой 1 и дистанционным кольцом 2.

В станках особо высокой точности в передней бабке располагают только шпиндель, причем в качестве опор преимущественно используют гидродинамические или гидростатические подшипники.

Коробки подач (рисунок 21) станков общего назначения представляют собой многоваловые коробки с групповыми передачами, переключаемыми блоками. Направление движения от вала к валу изменяется зубчатыми муфтами внутреннего зацепления M_1 , M_2 , M_3 и M_4 . В токарно-винторезных станках выходными звеньями коробок подач являются ходовой винт 1 и ходовой вал 2.

Суппорт токарно-винторезного станка показан на рисунке 22. По направляющим станины посредством винтовой или реечной передачи (на рисунке не показаны) перемещается каретка 6, по которой ходят поперечные салазки 4. Механическое или ручное перемещение салазок осуществляется парой винт-гайка 7—8. На салазках 4 установлена поворотная плита 3, имеющая направляющие типа ласточкина хвоста, по которым перемещаются верхние (резцовые) салазки 2. На резцовых салазках установлены передний поворотный 1 и задний 5 резцедержатели.

В станках с числовым программным управлением на поперечном суппорте устанавливаются многопозиционные поворотные резцедержатели и револьверные головки.

Поворотный резцедержатель с горизонтальной осью вращения, Несущий шестипозиционную инструментальную головку, показан на рисунке 23. В исходном положении инструментальная головка (рисунок 24) закреплена на валу 9 (см. рисунок 23), полумуфта 7 жестко связана с валом и введена в зацепление с полумуфтой 6, закрепленной на корпусе 13. Зубья полумуфт 7 и 6 выполнены плоскими и предназначены для точной фиксации положения инструментальной головки. Пружина 1 сжата, а кулачки кулачковых полумуфт 3 и 8 контактируют по торцам. При подаче команды на поворот электродвигатель 12 через цилиндрическую и червячную 5—2 передачи проворачивает кулачковую полумуфту 8; при этом полумуфта 3, жестко закрепленная на валу 9, под действием пружины 1 входит в зацепление с полумуфтой 8, а вал подается влево, и полумуфты 6 и 7 выходят из зацепления. Вал 9 с инструментальной головкой продолжает вращаться до тех пор, пока кулачок 10 не нажмет на конечный выключатель 11. При этом двигатель 12 реверсируется, а полумуфта 7 фиксируется фиксатором (на рисунке не показан), допускающим ее осевое перемещение. Реверс полумуфты 8 вызывает осевое перемещение вала 9 вправо, так как кулачки зафиксированной от поворота полумуфты 3 выходят из зацепления с кулачками полумуфты 8. При перемещении вала 9 вправо полумуфты 6 и 7 входят в зацепление, сжимая пружину 1 и точно фиксируя угловое положение инструментальной головки. В конце хода вала 9 фиксатор зажима выключает электродвигатель 12. Резцедержатель готов и к выполнению очередной операции.

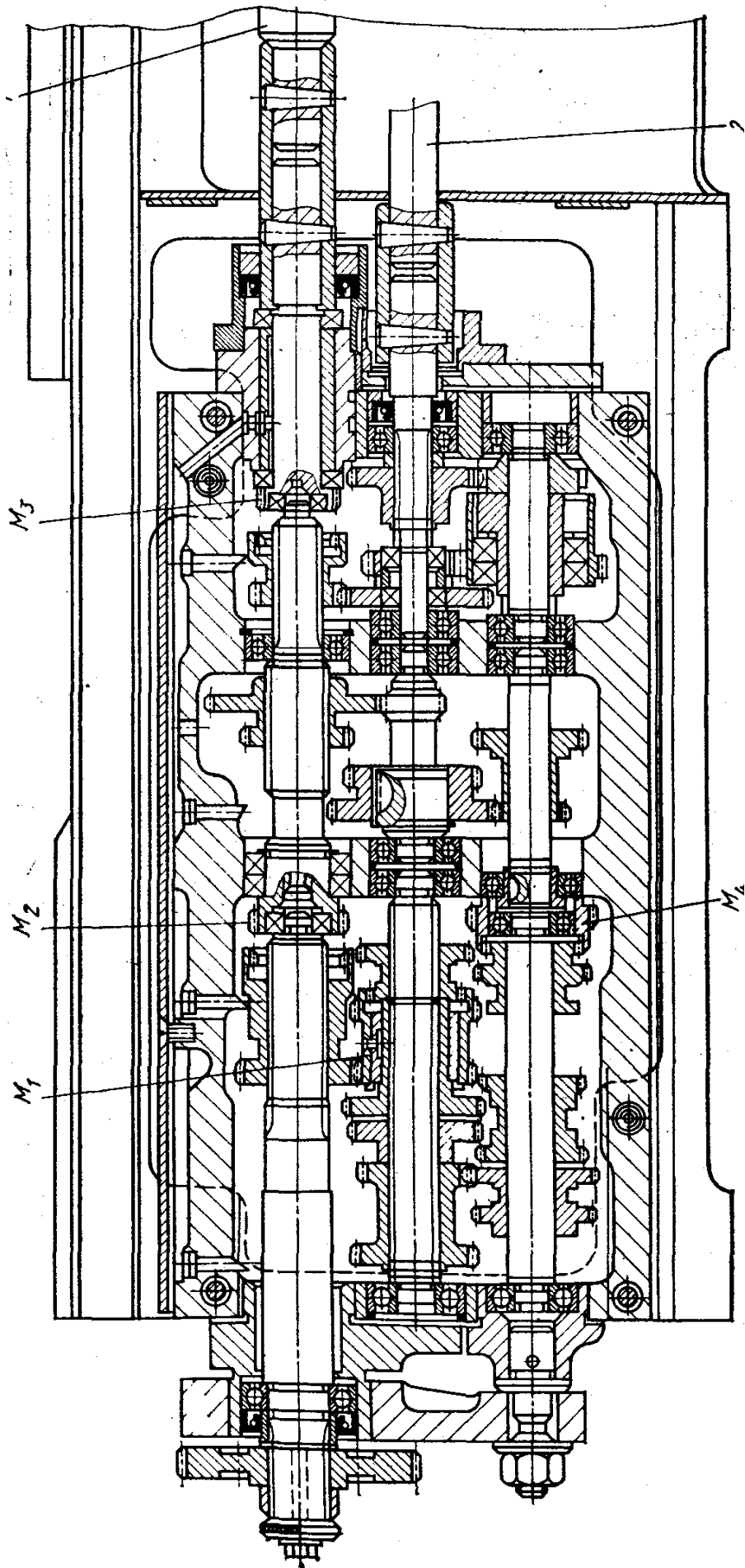


Рисунок 21 - Коробка подач токарного станка

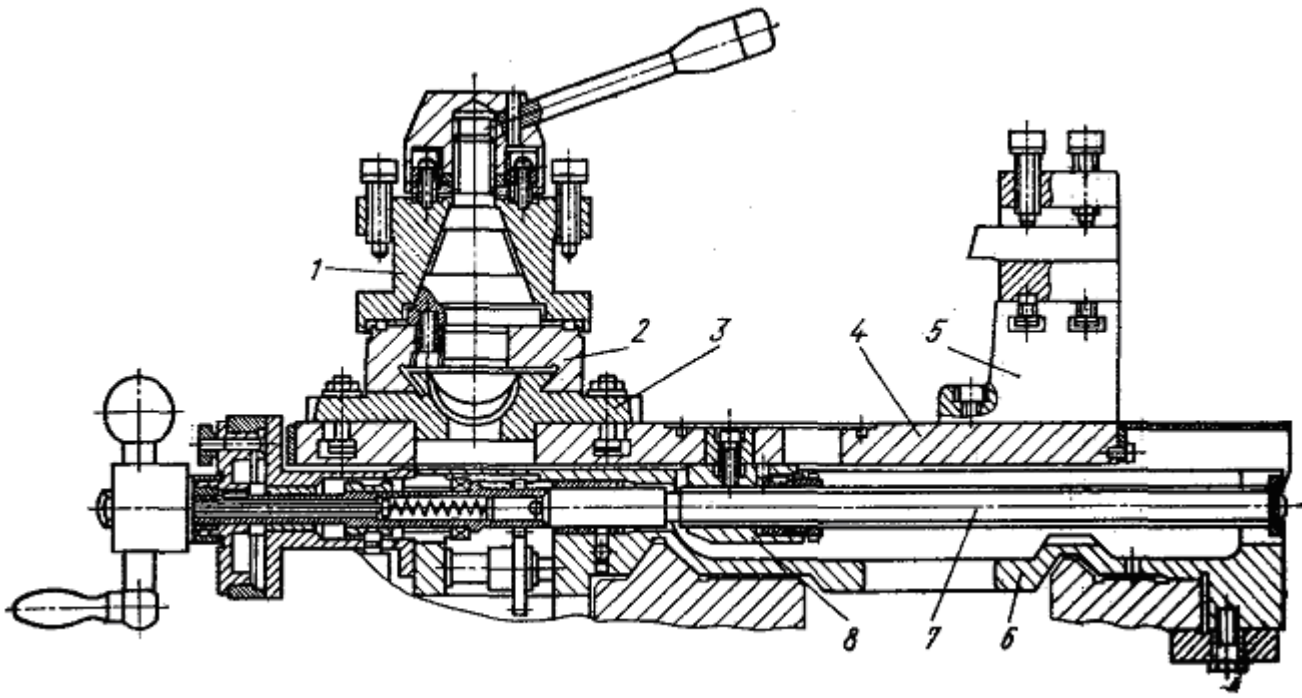


Рисунок 22 - Суппорт токарно-винторезного станка

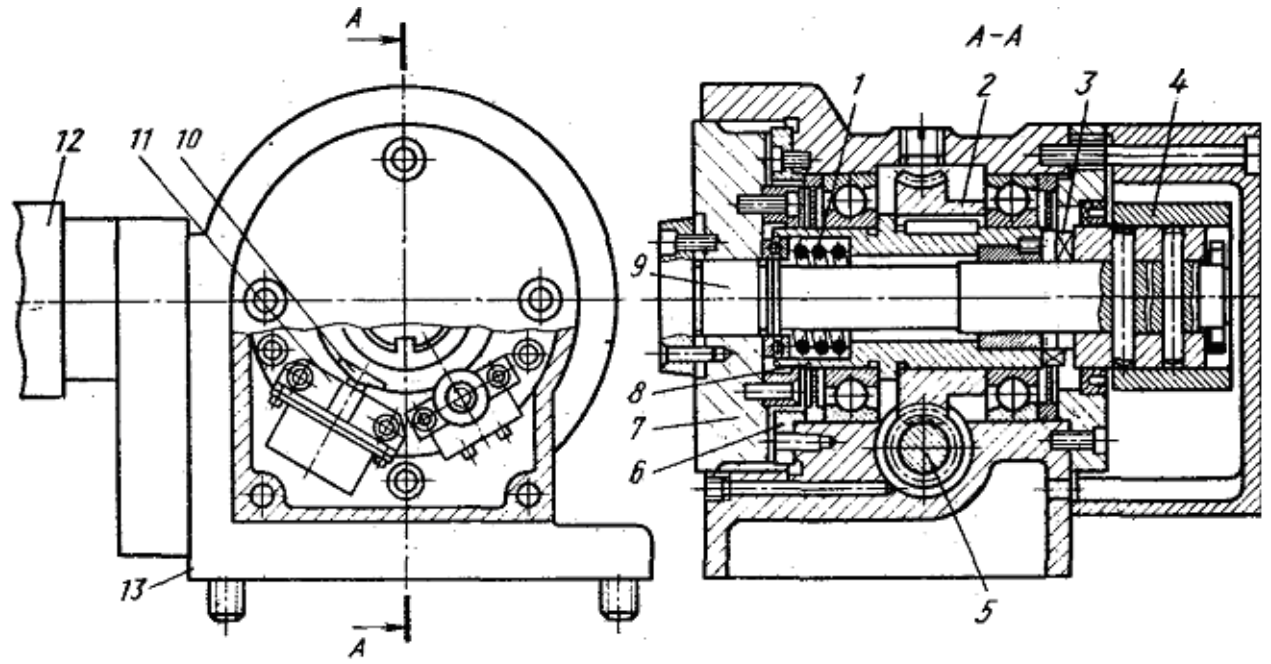


Рисунок 23 - Поворотный резцедержатель

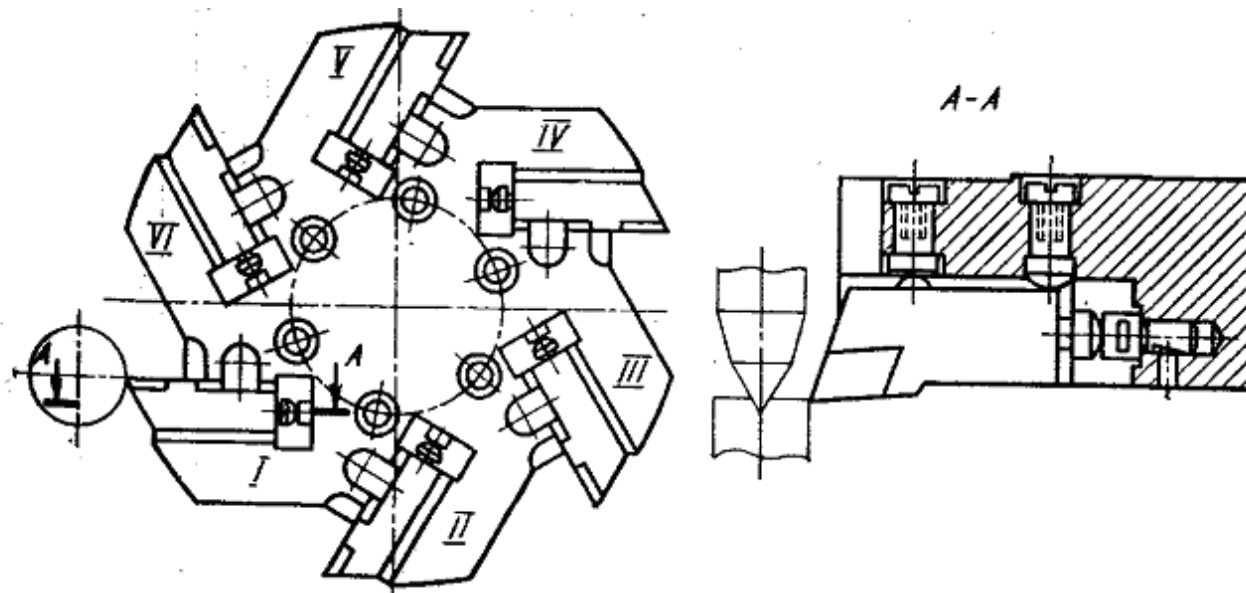


Рисунок 24 - Инструментальная головка

Задняя бабка токарного станка общего назначения показана на рисунке 25. Корпус 14 бабки устанавливают на основании 15, которое крепят к направляющим станины 1 планкой 3 и винтами 2 и 4, один из которых (4) связан с эксцентриковым механизмом 5 с рукояткой 6. В корпусе 14 размещена пиноль 10 с центром 12. Пиноль 10 перемещается парой винт—гайка 9-8. Неподвижный в осевом направлении винт 9 связан с маховиком 7. Положение пиноли фиксируют поворотом рукоятки 11, связанной с винтом 13. При зажиме по винту перемещаются встречно две втулки 16 и 17 со скосами, контактирующими с наружной поверхностью пиноли.

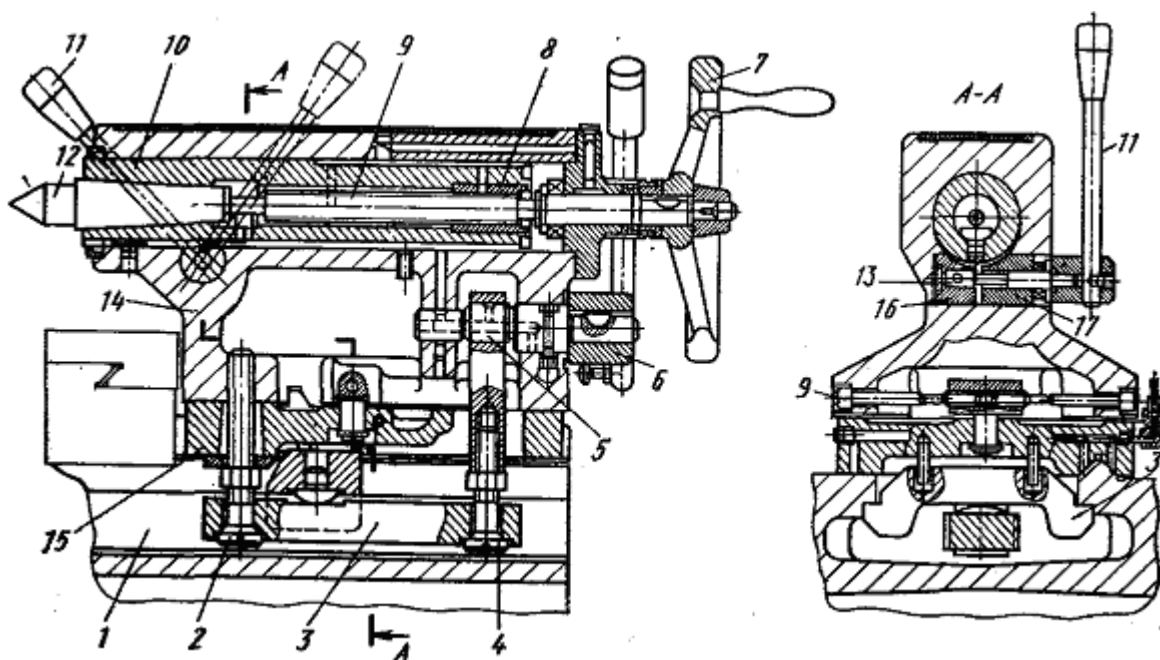


Рисунок 25 - Задняя бабка токарно-винторезного станка

Задняя бабка может быть соединена с кареткой суппорта для получения подачи. В станках с числовым программным управлением пиноль задней бабки перемещает автономный привод, чаще гидравлический.

Для облегчения перемещения задней бабки по направляющим станины применяют пневморазгрузку. Воздух подается от цеховой пневмосети к направляющим бабки через пневмораспределитель, связанный с рукояткой зажима-разжима бабки.

Приспособления для токарных станков можно разделить на два вида: приспособления, предназначенные для крепления деталей, и приспособления, предназначенные для крепления инструмента. К первому виду относят патроны (самоцентрирующие и поводковые), хомутики, упорные центры, люнеты и оправки.

Трехкулачковые самоцентрирующие патроны с различными механизмами привода кулачков приведены на рисунке 26. Патрон с клиновым зажимом и шестеренно-реечным механизмом синхронизации перемещения кулачков показан на рисунке 26, а. На торцах кулачков 1 и гранях реек 2 выполнены клиновые поверхности. Рейки 2 связаны с центральной шестерней 4. Одна из реек перемещается вручную винтом 3. Патрон со спирально-реечным механизмом зажима и механизмом синхронизации показан на рисунке 26, б. На торцах кулачков 1 нарезаны зубья рейки, взаимодействующие со спиральным диском 2, на задней поверхности которого нарезаны зубья конического венца 3, зацепляющиеся с ведущими шестернями 4. Патрон с эксцентриковым механизмом зажима и механизмом синхронизации показан на рисунке 26, в. На кулачках 1 выполнены впадины, входящие в зацепление с эксцентричными выступами 2, расположенными на торце червячного колеса 3, которое вращают посредством червяка 4. Патрон с винтовым механизмом зажима и шестеренным механизмом синхронизации показан на рисунке 26, г. На торцах кулачков 1 нарезаны гайки, взаимодействующие с закрепленными в корпусе патрона винтами 2, на концах которых выполнены конические зубчатые колеса 3, зацепляющиеся с центральным коническим колесом 4. На периферии колеса 4 нарезан Червячный венец, взаимодействующий с червяком 5, поворачиваемым при разжиге-зажиге посредством ключа. Для закрепления некруглых и несимметричных деталей используют четырехкулачковые патроны.

В станках с числовым программным управлением применяют патроны с электромеханическим, гидравлическим и пневматическим приводами.

Электромеханический привод рычажного токарного патрона показан на рисунке 27. Электродвигатель 1 через зубчатый редуктор (колеса 2—6) вращает колесо 7, свободно сидящее на гайке 9. На колесе 7 и гайке 9 имеются выступы 8 и 10, образующие однооборотную муфту. Гайка 9 взаимодействует с винтом 11, установленным в корпусе редуктора с возможностью осевого перемещения и связанным с тягой 12, размещенной в отверстии шпинделя станка. Перемещение тяги 12 вызывает поворот рычагов 13 и радиальное перемещение кулачков 14 патрона.

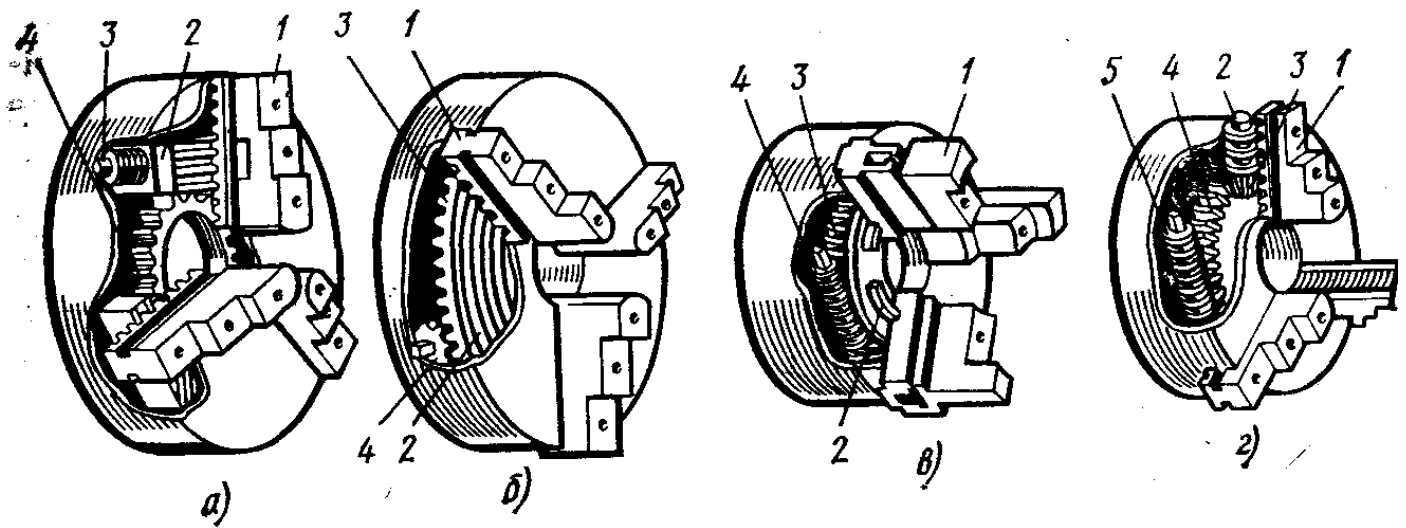


Рисунок 26 - Трехкулачковые самоцентрирующие патроны

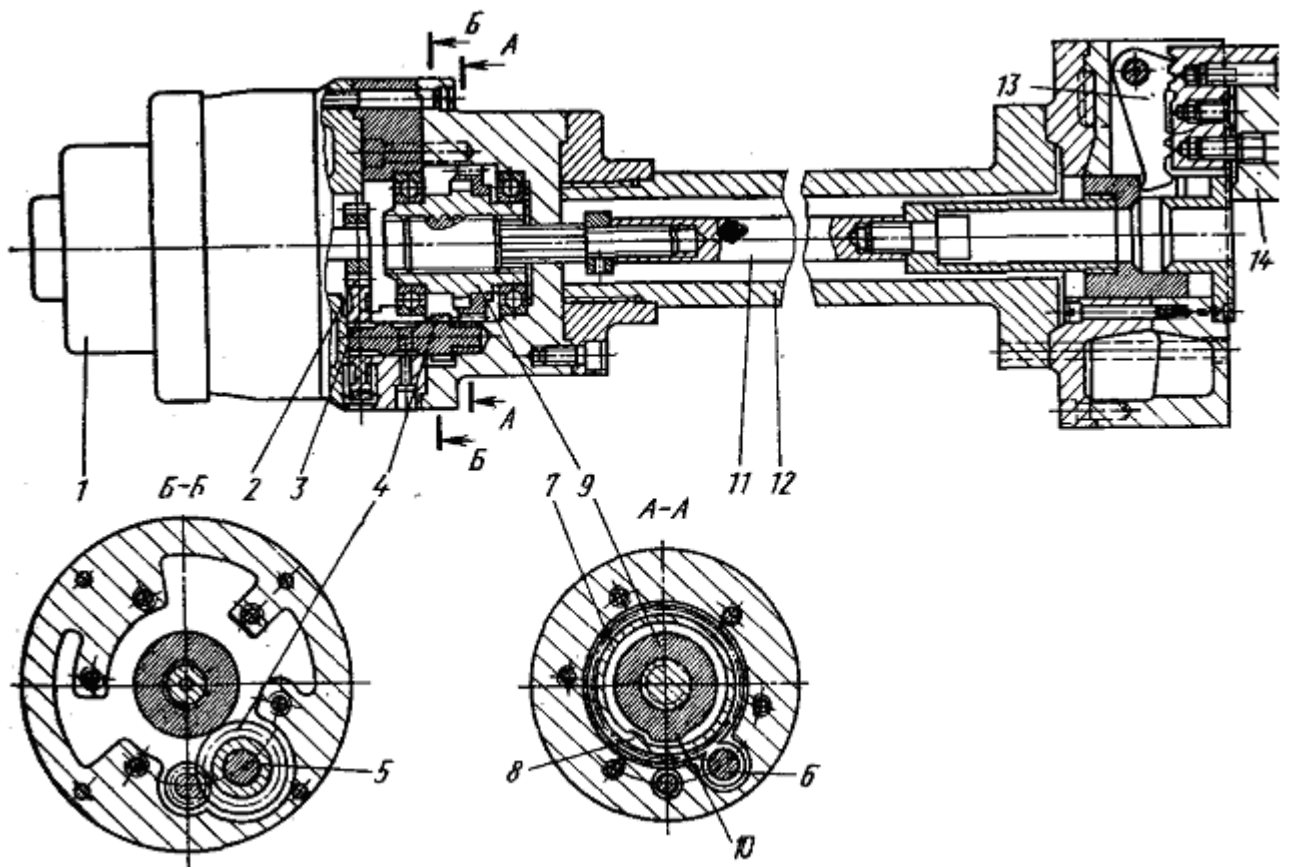


Рисунок 27 - Электромеханический привод рычажного токарного патрона

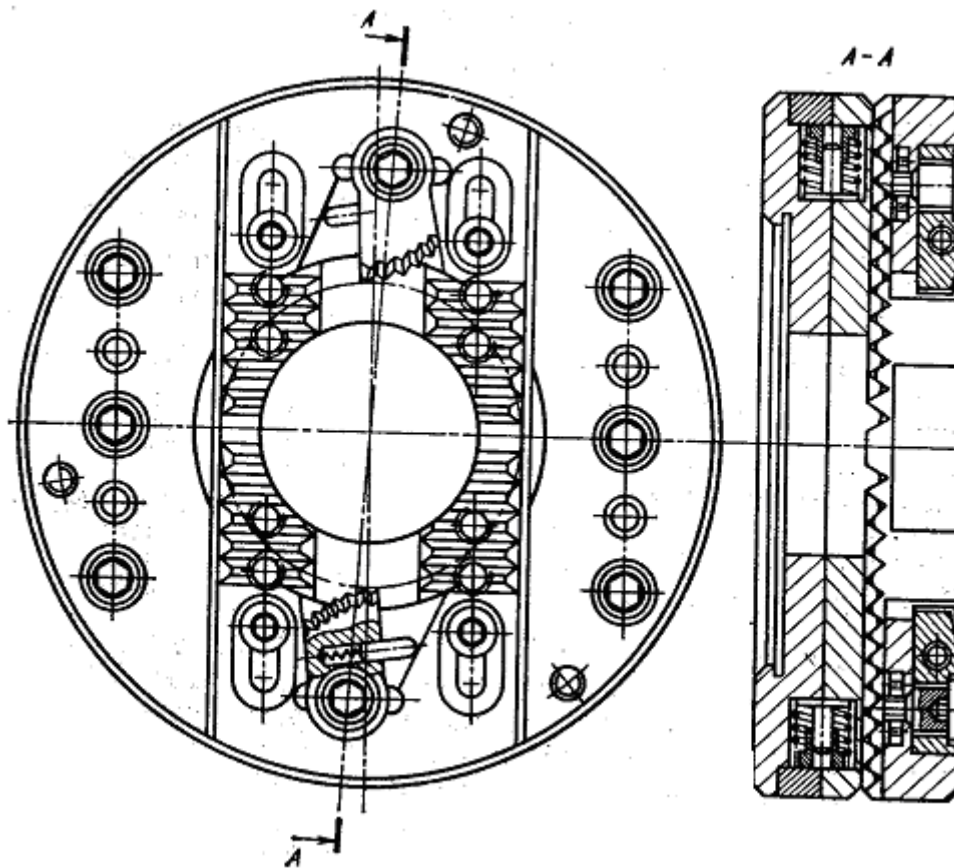


Рисунок 28 - Самозажимной поводковый патрон

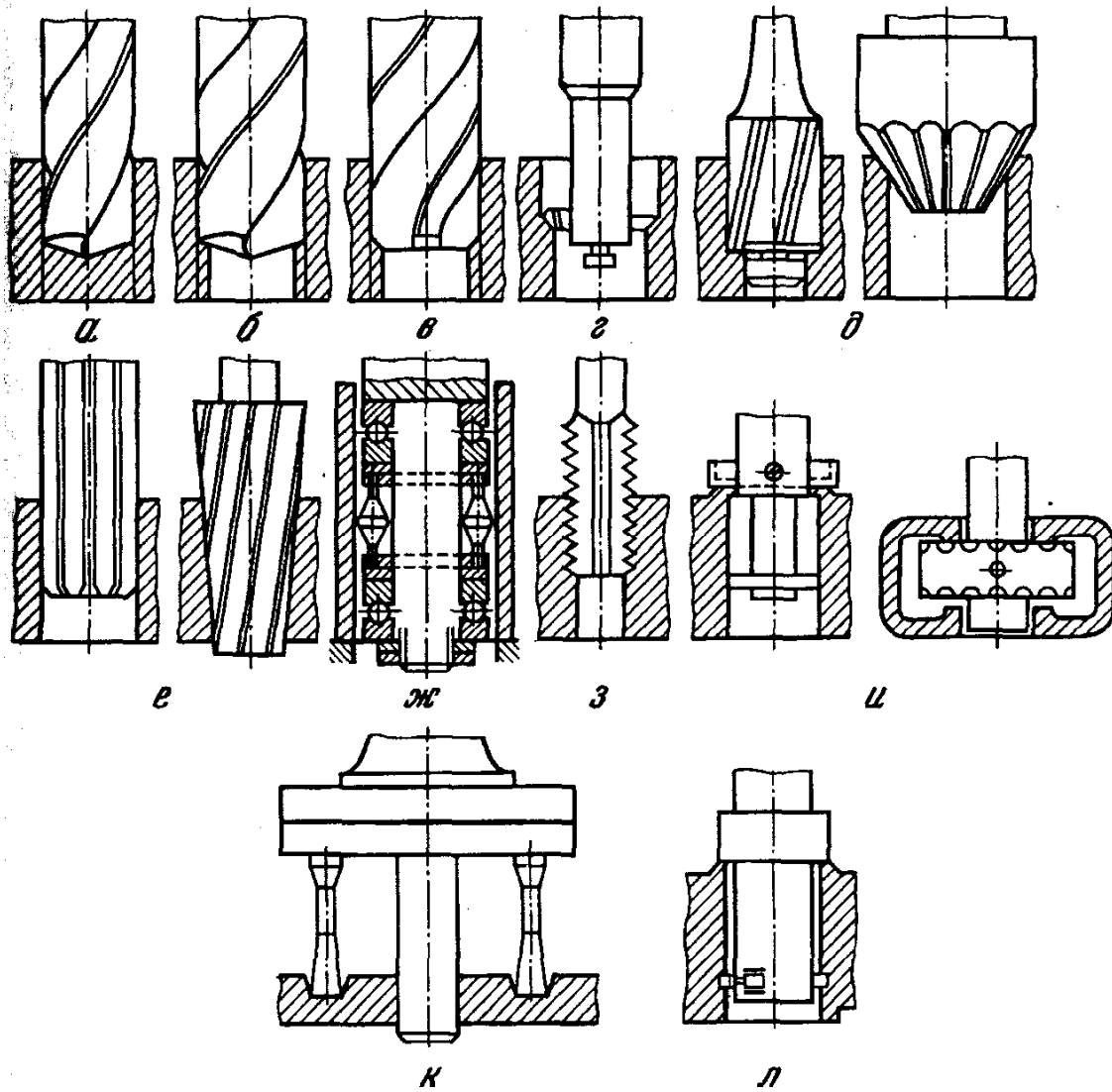
Самозажимной поводковый патрон (рисунок 28) широко применяют в тех случаях, когда деталь уже установлена в центрах станка и требуется только передача крутящего момента от шпинделя к детали.

7 Сверлильные станки

Сверлильные станки предназначены для обработки сквозных и глухих отверстий и других поверхностей концевым инструментом рисунок 29 (сверла, зенкера, развертки, метчики). Применяя специальные инструменты и приспособления на сверлильных станках, можно растачивать отверстия, вырезать отверстия большого диаметра в листовом материале, притирать точные отверстия и т.д.

Наиболее распространены следующие типы сверлильные станков:

- 1) вертикально-сверлильные одношпиндельные станки;
- 2) радиально-сверлильные станки;
- 3) настольные одношпиндельные сверлильные станки вертикальной компоновки. Движение подачи в большинстве случаев осуществляется вручную;
- 4) многошпиндельные сверлильные станки, в которых предусмотрено шарнирное крепление шпинделя и регулирование расстояния между осями шпинделей. Это позволяет производить одновременную обработку нескольких отверстий;



а - сверление, б - рассверливание, в - зенкерование, г - растачивание, д - зенкование, е - развертывание, ж - раскатывание, з - нарезание внутренней резьбы, и - подрезка (цековка) торцов, к - вырезка отверстий большого диаметра, л - проточка внутренних канавок

Рисунок 29 - . Виды операций, выполняемых на сверлильных станках

5) станки для глубокого сверления (горизонтальной компоновки), в которых длина отверстий значительно больше их диаметра. Станки оснащаются устройствами для отвода стружки;

б) агрегатные сверлильные станки, которые состоят из нормализованных узлов и применяются в крупносерийном производстве для обработки корпусных деталей. Станки имеют большое число шпинделей (до 100 и более).

7.1 Вертикально-сверлильные станки

На вертикально-сверлильных станках могут выполняться следующие операции: сверление сквозных и глухих отверстий, рассверливание, зенкерование, развертывание цилиндрических и конических отверстий, зенкование, подрезка (цековка) торцов бобышек и нарезание внутренних резьб метчиками. При исполь-

зовании специального инструмента возможно увеличить диапазон операций, например, производить раскатывание отверстий роликовыми и шариковыми раскатками, вырезать диски из листового материала резцами в специальной оправке, получать отверстия большого диаметра кольцевыми сверлами, протачивать канавки и т.п. (до 50 операций, включая токарную обработку и фрезерование плоскостей).

Классификацию станков по размерам определяет размерный ряд. Для вертикально-сверлильных станков регламентируется *наибольший условный диаметр сверления в детали из стали 45*. Размерный ряд может быть условно разделен на три группы: легкие настольные - диаметр 3, 6, 12 мм; средних размеров - 0 18, 25, 35, 50 мм и тяжелые 0 более 75 мм.

Тип стола станка - обычный подъемный, плавающий, крестовый, поворотный определяет способ установки деталей на требуемую координату: ручную по разметке и кондуктору - в станках с подъемными и плавающими столами; ручную по шаблону - в станках оснащенных специальными плавающими столами; ручную, механически и автоматически по отсчетным устройствам - в станках с крестовыми и поворотными столами.

Вертикально-сверлильные станки с фланцевой пинолью являются базой для специальных станков с многошпиндельными и револьверными головками для одно- и многопозиционной обработки и многошпиндельных станков с раздвижными шпинделями (колокольного типа). Отдельную группу образуют координатно-сверлильные станки повышенной точности, предназначенные для обработки деталей с точностью координат до $\pm 0,1$ мм. Эти станки имеют различную степень автоматизации, вплоть до ЧПУ, и универсальную оснастку в виде крестовых и плавающих столов.

Существуют три группы компоновок вертикально-сверлильных станков: типа кронштейн, агрегат (или подвижный моноблок) и пресс (неподвижный моноблок) (рисунок 30). Станки с компоновкой типа кронштейн (а) имеют привод главного движения 2 (коробку скоростей) в виде самостоятельной сборочной единицы, расположенной в верхней части колонны 3. Шпиндель, коробка подачи и механизм перемещения шпинделя расположены в корпусе 1, образуя узел, традиционно называемый кронштейн. Эта компоновка долгое время считалась классической для средних и крупных вертикально-сверлильных станков, но примерно 30 лет назад на смену им появились станки агрегатной компоновки.

В станках агрегатной компоновки (б) все механизмы, осуществляющие вращательное и поступательное движения, объединены, как и в радиально-сверлильных станках, в сверлильной головке 5 с индивидуальным приводом. В станках средних размеров движение подачи сообщается шпинделю, а сверлильная головка имеет лишь установочное перемещение по колонне. В тяжелых станках (0 более 50 мм) движение подачи сообщается всей головке, а шпиндель имеет только вращательное движение. Агрегатная компоновка имеет ряд конструктивных и эксплуатационных преимуществ: упрощение конструкции колонны, возможность создания на основе базового станка гаммы модификаций из унифицированных узлов, упрощение монтажа и смазки узлов станка, удобное расположение органов управления. За счет уменьшения длины ведущей шлицевой части шпинделя повышена крутильная жесткость.

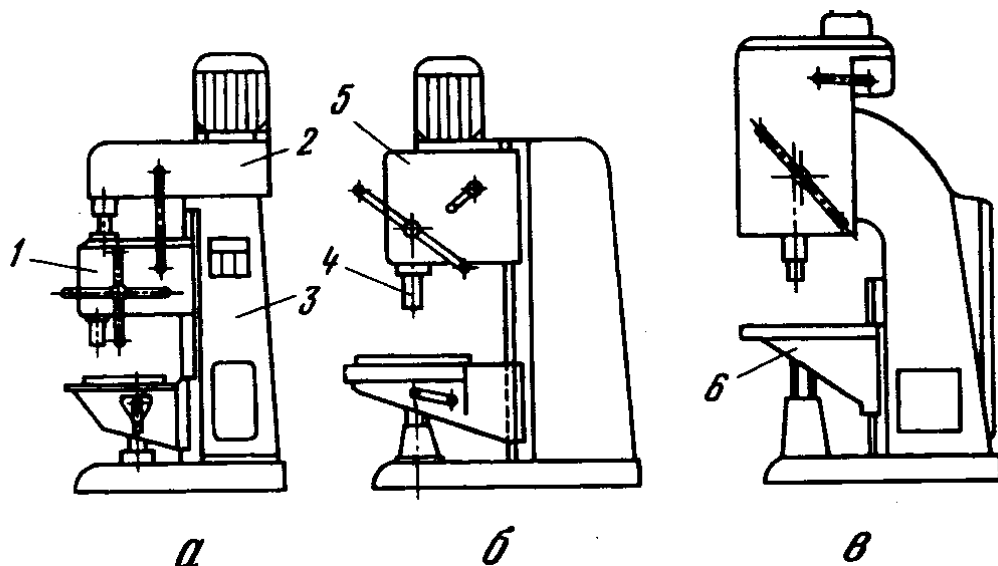


Рисунок 30 - Схема компоновок вертикально-сверлильных станков типа
а - кронштейн; б - агрегат; в - пресс.

Большинство современных вертикально-сверлильных станков имеют агрегатную компоновку.

В станках с компоновкой типа пресс (в) коробки скоростей и подачи, шпиндель и другие устройства расположены в верхней части колонны, а вертикальное установочное перемещение имеет только стол 6. За счет этого станки обладают повышенной жесткостью, но менее технологичны. Характеристики некоторых вертикально-сверлильных станков приведены в таблице 4.

7.1.1 Универсальный вертикально-сверлильный станок модели 2Н135

Инструменту, закрепленному в шпинделе сверлильной головки 3 рисунок 31 сообщают вращательное главное движение и вертикальное движение подачи. Заготовка, установленная на столе 9, в процессе резания неподвижна. Несущая колонна 1 прикреплена к плите 11 и снабжена вертикальными направляющими типа "ласточкин хвост" для установочного перемещения стола 9 и сверлильной головки 3. В сверлильной головке размещены коробки скоростей и подачи.

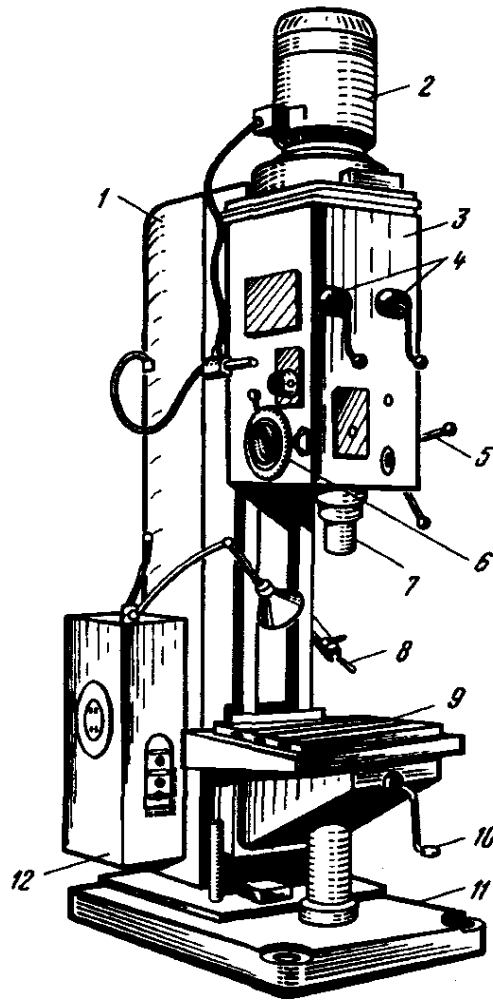
Кинематическая схема станка представлена на рисунке 32.

Цепь главного движения

M_1 – муфта M_1 – (вал I) – Z30 – Z45 – (вал II) – $Z_{25} - Z_{35}$
 $Z_{30} - Z_{30} - Z_{35} - Z_{25}$
 – (вал III) – $Z_{35} - Z_{35}$ – (вал IV) – Z25 – Z50 – (вал V) –
 $Z_{15} - Z_{42}$
 – $Z_{15} - Z_{60}$ – (вал VI) – шпиндель.
 $Z_{50} - Z_{25}$

Таблица 4 Характеристики вертикально-сверлильных станков

Параметр	Универсальные вертикально-сверлильные станки						Станки с программным управлением		
	2М112	2Н118	2Н125	2Н135	2Н150	2Г175	2Р135Ф2-1	2Д132МФ2	2С132ПФ2И
Наибольший условный диаметр сверления, мм	12	18	25	35	50	75	35	32	50
Размер конуса шпинделя (Морзе N-)	1	2	3	4	5	6	4	(7:24)	4
Наибольший ход шпинделя, мм (суппорта, мм)	100	150	200	250	300	750	560	590	250
Рабочая поверхность стола, мм	250 × 250	320 × 360	400 × 450	450 × 500	500 × 560	560 × 630	400 × 710	400 × 710	320 × 1000
Ход стола, мм	Нет	350	270	300	360	300	360/630	400/630	250/500
Частота вращения шпинделя, об/мин	450-4500	180-2800	45-2000	31,5-1400	22,4-1000	18-800	35,5-1600	45-2000	31,5-1400(4000)
Величина подач шпинделя, мм/об	-	0,1-0,56	0,1-1,6	0,1-1,6	0,05-2,24	0,02-4,5	10-500	10-500	0,1-1,6
Наибольшее усилие подачи, даН	-	560	900	1500	2350	4000	15000	15000	15000
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	0,55	1,5	2,2	4	7,5	10	4/4,5	4/4,5	4



1 - колонна (стойка); 2 - двигатель; 3 - сверлильная головка; 4 - рукоятки переключения коробок скоростей и подач; 5 - штурвал ручной подачи; 6 - лимб контроля глубины обработки; 7 - шпиндель; 8 - сопло охлаждения; 9 - стол; 10 - рукоятка подъема стола; 11 - фундаментная плита; 12 - шкаф электрооборудования

Рисунок 31 - Вертикально-сверлильный станок

Цепь подачи связывает прямолинейное движение шпинделя вдоль оси с его вращением.

Z16 – Z45

(вал VI) – Z34–Z60 – (вал VII) – Z19–Z54 – (вал VIII) – Z31 – Z31 – Z45 – Z16

Z36 – Z26

– (вал IX) – Z31 – Z31 – (вал X) – соед. муфта M_2 – предохран. муфта Z26 – Z36

M_3 – (вал XI) – Z1–Z60 – Z13 – рейка $m = 3$ мм (на гильзе).

Штурвальное устройство сверлильной головки позволяет подвести инструмент к заготовке и отвести его, включить и выключить рабочую подачу, ускорить движение без выключения рабочей подачи, осуществить подачу, используемую при нарезании резьбы.

Из четырех полумуфт M_4 и M_5 с валом XII связана шлицами ведомая часть $M_{4\text{вм}}$. Она получает вращение от штурвала Р1 через ведущую часть $M_{4\text{вщ}}$ при подводе. По окончании подвода для врезания требуется большой крутящий момент, который не может быть передан зубьями муфты M_4 , сжатыми пружиной на валу XII. Полумуфта $M_{4\text{вм}}$ отжимается, преодолевая пружину, муфта M_5 включается и передает вращение валу XII от червячного колеса 60 через собачки С6 и полумуфту $M_{4\text{вм}}$. Если необходимо определить ручную рабочую подачу, вал XII поворачивают штурвалом непосредственно через штифт Шт1, при этом собачки С6 проскакивают по зубьям торцового храповика на полумуфте $M_{5\text{вщ}}$. Этот храповой механизм является механизмом обгона. Ручная подача для нарезания резьбы включается нажимом колпачка со штифтом Шт3 (на рисунке - включена), тогда вращение от штурвала передается штифтами Шт4, Шт3, Шт2.

Лимб Л связан с валом XII передачей 13/38 с внутренним зацеплением и позволяет вести отсчет глубины обработки, а также настраивать положение кулачка, реверсирующего шпиндель и положение кулачка, отключающего подачу на заданной глубине (отключающего муфту М3 на валу X).

Механизм ручного перемещения сверлильной головки состоит из червячной передачи 1/46, реечного колеса 10 на валу XIV и рейки с $t = 4$ мм, привернутой к колонне. Колесо 10 перекачивается по рейке и перемещает головку.

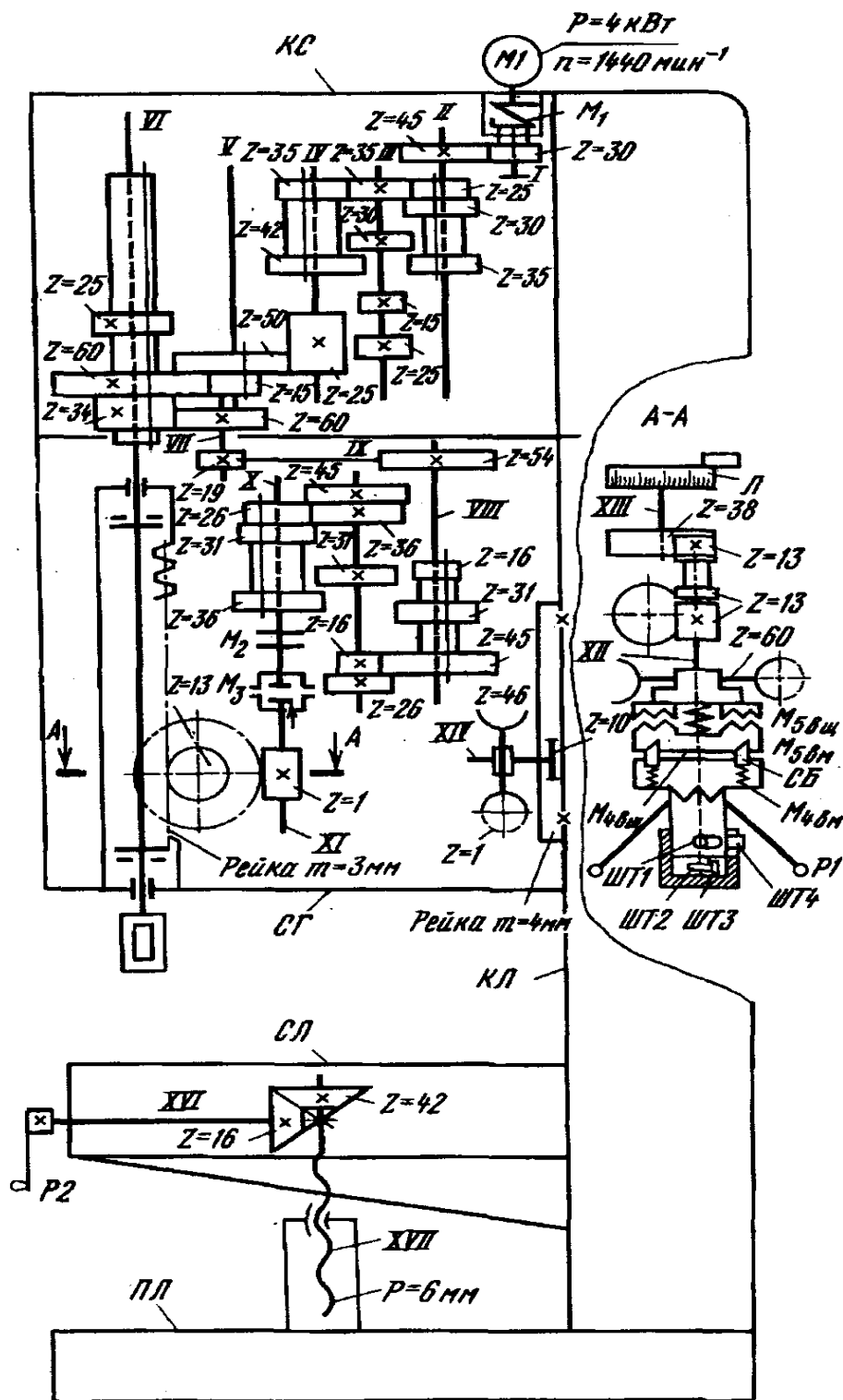
Механизм перемещения стола состоит из рукоятки Р2, конической передачи 16/42, передачи винт-гайка с шагом $p = 6$ мм.

Конструкция *шпиндельного узла* и устройств для зажима инструмента аналогично конструкциям, используемым в радиально-сверлильных станках.

7.1.2 Коробки скоростей и коробки подач вертикально-сверлильных станков

На рисунке 33 показана в качестве примера коробка скоростей вертикально-сверлильного станка модели 2Н135, с компоновкой типа агрегат. Вертикально расположенные валы коробки смонтированы на шариковых подшипниках, размещенных в двух плитах 1 и 2, верхней и нижней, скрепленных между собой четырьмя стяжками 3. В качестве привода используется фланцевый односкоростной асинхронный двигатель вертикального исполнения, связанный с коробкой скоростей через упругую муфту.

Коробки подач вертикально-сверлильных станков представляют собой многоваловые механизмы, образованные путем последовательного соединения групповых передач. Коробки подач вертикально-сверлильных станков смонтированы в отдельном литом корпусе, который фланцем центрируется в расточке верхней опоры червяка. Привод коробки подач осуществляется через зубчатую передачу от коробки скоростей. Для передачи движения от коробки подач на реечное колесо служат механизмы подач.



М - электродвигатель; М1, М2 - соединительные муфты; М3 - предохранительная муфта; М4вщ, М4вм - ведущая и ведомая полумуфты для подвода от штурвала Р1; М5вщ, М5вм - ведущая и ведомая полумуфты привода подач от электродвигателя; ПЛ - плита; СЛ - стол; КЛ - колонна; СГ - сверлильная головка; КС - коробка скоростей; ШТ1 - штифт для передачи движения от штурвала Р1 при опережении рабочей подачи; ШТ4, ШТ3, ШТ2 - штифты передачи движения от штурвала при нарезании резьбы; СВ - собачка; Л - лимб отсчета глубины обработки; Р2 - рукоятка перемещения стола

Рисунок 32 - Кинематическая схема вертикально-сверлильного станка модели 2Н135

С их помощью может осуществляться ручной подвод инструмента к детали, включение механической подачи, ручное опережение механической подачи, включение подачи и ручной отвод шпинделя; кроме того, ими обеспечивается ручная подача при нарезании резьбы метчиками, команда на реверс шпинделя при достижении требуемой глубины резьбы и отключение шпинделя при достижении установленной глубины обработки.

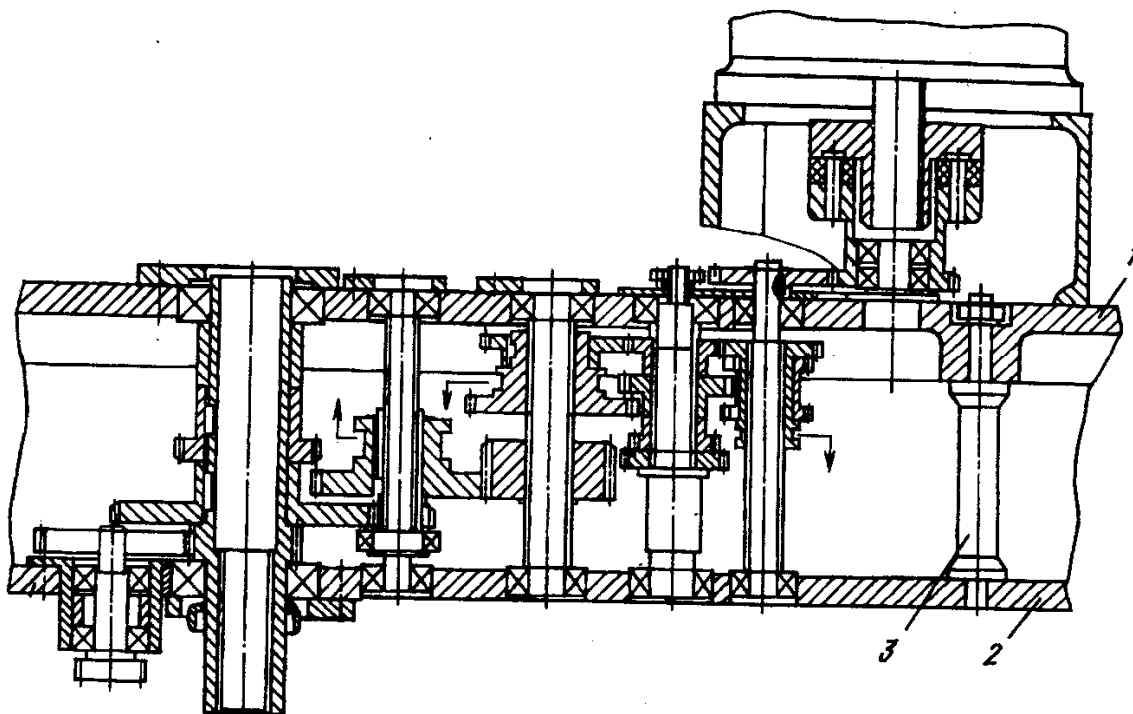


Рисунок 33 - Коробка скоростей станка мод. 2Н135.

7.2 Радиально-сверлильные станки

Предназначены для обработки различных отверстий и поверхностей концевым инструментом (сверла, зенкеры, развертки, метчики) в крупных корпусных деталях в условиях как единичного, так и крупносерийного производства. В отличие от вертикально-сверлильных в радиально-сверлильных станках совмещение оси заготовки с осью шпинделя достигается перемещением шпинделя относительно неподвижной заготовки. Компоновка станка (рисунок 34) позволяет установить шпиндель с инструментом в любой точке рабочей зоны станка за счет перемещения шпиндельной сверлильной головки 3 по направляющим траверсы (рукава) 2 и поворота траверсы вокруг колонны 1.

Основным размером радиально-сверлильных станков является наибольший диаметр сверления в стали средней твердости, а наиболее важными параметрами - номер конуса шпинделя, вылет шпинделя от направляющих колонны (размер А), наименьшее и наибольшее расстояния от торца шпинделя до стола 4 (размер Г) и до фундаментной плиты 5 (размер В), величина осевого хода шпинделя (размер Б).

Главным движением в радиально-сверлильных станках является вращение шпинделя, а движением подачи - осевое перемещение шпинделя вместе с пинолью (гильзой). К вспомогательным движениям относятся: поворот траверсы и за-

крепление ее на колонне, вертикальное перемещение и закрепление траверсы на нужной высоте, перемещение и закрепление шпиндельной головки на траверсе и др.

Радиально-сверлильные станки выполняют стационарными (при установке фундаментной плиты станка на пол цеха); переносными (при установке основания станка на крупногабаритную обрабатываемую корпусную деталь), самоходными, которые монтируют на тележках, перемещающихся по рельсам и др. (рисунок 35).

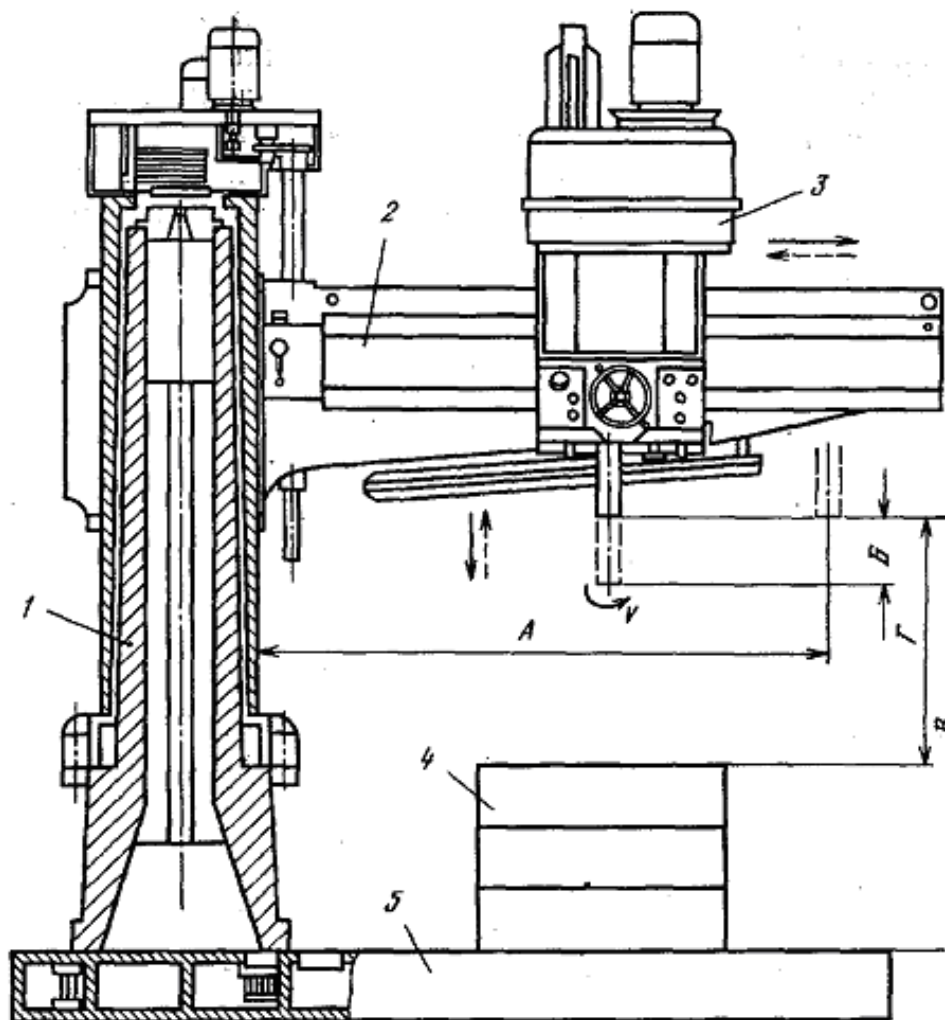
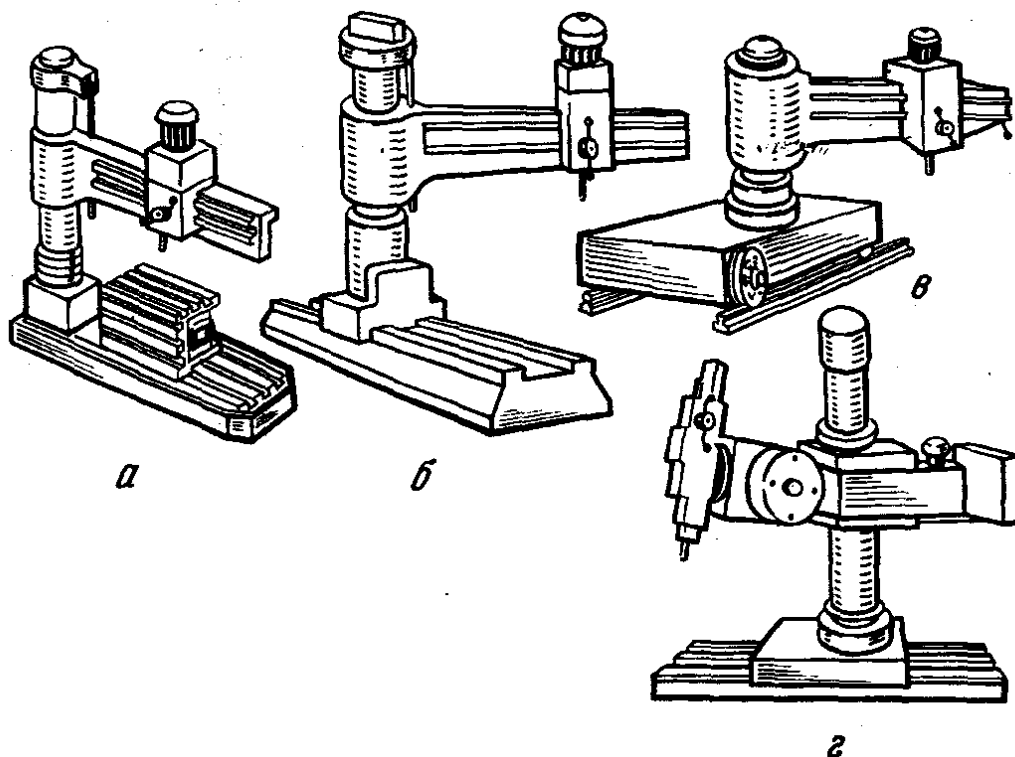


Рисунок 34 - . Компоновка радиально-сверлильного станка.

Техническая характеристика радиально - сверлильного станка модели 2554

Наибольший условный диаметр сверления, мм.....	50
Вылет шпинделя от направляющих колонны, мм	350-1600
Частота вращения шпинделя, 1/мин	18-2000
Число ступеней.....	25
Пределы подач, мм/об.....	0,05-5
Число подач.....	21

Заготовку закрепляют на фундаментной плите. Все движения совершает шпиндель сверлильной головки. Он вращается (главное движение), перемещается вдоль оси (движение подачи), передвигается при переходе от



а - стационарная общего назначения; б - с колонной, перемещающейся по направляющим станины; в - передвижная по рельсам; г - переносная

Рисунок 35 - . Типы компоновок радиально-сверлильных станков

отверстия к отверстию вместе с головкой по рукаву и вместе с последним вокруг колонны.

Рукав можно также перемещать вертикально по направляющим колонны. В верхней части сверлильной головки расположены коробки скоростей и подач, а также гидравлические механизмы переключения.

Кинематическая схема станка показана на рисунке 36. Цепь главного движения соединяет асинхронный электродвигатель М1 со шпинделем VI. Фрикционная муфта М₁ реверсирует шпиндель, соединяя с валом I колеса 38-33 или 34 (последнее передает движение на вал II через паразитное колесо 22). Муфтой управляет гидропривод, обеспечивающий три положения. В среднем (нейтральном) положении муфта выключена, движение на вал II не передается, включен заблокированный с муфтой тормоз Т. Коробка скоростей содержит, кроме того, четыре двойных блока и сопряженные с ними колеса.

Шпиндель VI своим шлицевым хвостовиком получает вращение от втулки, по которой может перемещаться колесо 28. Это колесо передает вращение от колеса 50 на валу V или от зубчатого венца 28 с внутренним зубом, соединенного с колесом 65 и работающего как зубчатая полумуфта. Таким образом, теоретически может быть получено 32 частоты вращения шпинделя по часовой стрелке и 16 - против часовой стрелки. Однако часть частот вращения на разных передачах совпадает, поэтому количество скоростей уменьшается до 25.

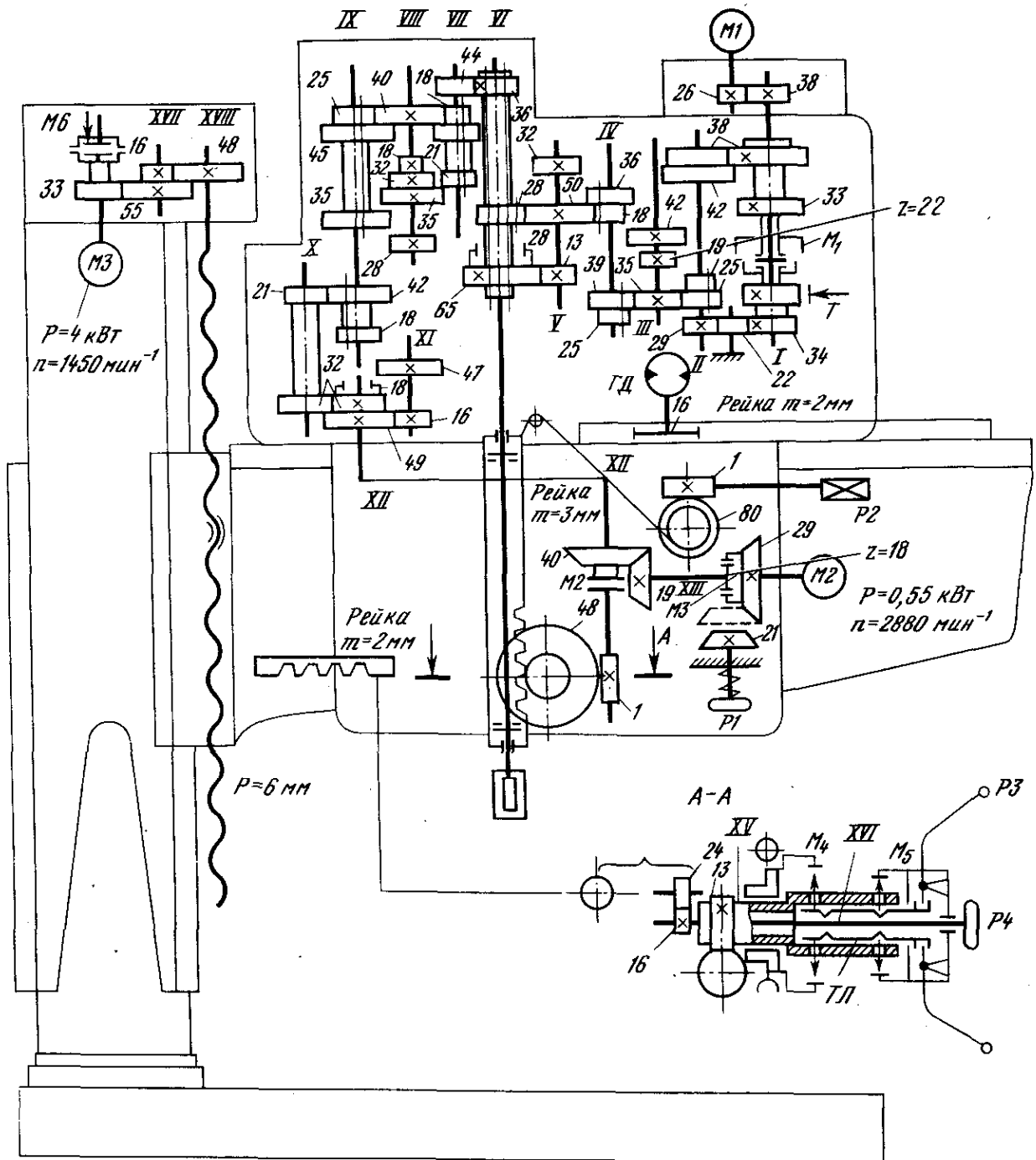


Рисунок 36 - Кинематическая схема радиально-сверлильного станка

Привод подач обеспечивает осевое перемещение гильзы со шпинделем. Коробка подач включает валы VII-XI и получает вращение от шпиндельной шлицевой втулки через передачу 36/44. Затем следуют две тройные группы передач, причем колесо 40 на валу VIII принадлежит обеим группам. На валу XII закреплены три зубчатых венца: 49-32-18 (колесо 18 - с внутренним зубом). Движение на вал XII может быть передано с вала IX напрямую при сцеплении наружного и внутреннего венцов 18 (образуют зубчатую муфту), либо через вал X (передачи 42/21 и 32/32), либо через вал XI (передачи 18/47 и 16/49). Теоретически может быть получено 27 подач, однако часть из них на различных передачах совпадает.

С вала XII на вал XIV движение поступает через предохранительную и управляющую муфту M_2 . Она срабатывает при перегрузке, а также при достижении заданной глубины сверления. За ней следуют червячная передача 1/48 и реечная передача с колесом 13 (А-А). Зубья рейки с $m = 3$ мм нарезаны на гильзе, несущей опоры шпинделя. Осевая нагрузка, действующая на шпиндель при обработке, замыкается через его опоры и привод подач на корпус сверлильной головки.

Гильза со шпинделем уравновешены спиральными пружинами, которые регулируют рукояткой P2 через передачу 1/80. Быстрое осевое перемещение невращающегося шпинделя возможно от электродвигателя M2, передающего движение через зубчатую муфту M3. Тонкую ручную подачу осуществляют маховичком P1, который перемещают, сжимая пружину и зацепляя конические колеса 21 и 29.

Рукоятки штурвала P3 служат для ручного перемещения или грубой подачи шпинделя, а также для включения цепи механической подачи. Нажимая на рукоятки "от себя" (на схеме - влево), сдвигают толкатель ТЛ вправо. При этом муфта M_4 включается, червячное колесо 48 соединяется с реечным колесом 13, становится возможной механическая подача. При повороте рукояток "на себя" муфта M_4 выключается, а муфта M_5 включается; появляется возможность поворачивать штурвал с реечным колесом при неподвижном червячном колесе, то есть производить грубую ручную подачу. Сверлильную головку перемещают по рукаву вручную с помощью маховичка P4 и колес 16, 24 по нижней рейке с $m = 2$ мм или от гидромотора ГД колесом 16 по верхней рейке.

Привод вертикального перемещения рукава включает в себя электродвигатель M3, зубчатые передачи 33/55 и 16/48, передачу винт-гайка с шагом $p = 6$ мм. Крутящий момент передается от двигателя на первое колесо 33 через шариковую предохранительную муфту M_6 .

Зажим сверлильной головки на рукаве, рукава на колонне и самой колонны (от поворота), для обеспечения высокой точности позиционирования инструмента в точке обработки, осуществляют гидроцилиндры. Для зажима колонны используются плунжер-рейка и передача винт-гайка. В остальных случаях поршни действуют через рычажные системы.

Конструкция *штурвального устройства* механизма подач показана на рисунке 37. Механическую подачу включают поворотом рычагов 15 штурвала от себя. При этом ползушка 18 выталкивается из паза толкателя 9 и вводится профильным концом во впадину колеса 3 с внутренним зубом, червячное колесо 2 привода соединяется с корпусом 4 ползушек. Корпус 4 через шлицы передает вращение полуму вала 1 реечного колеса, которое перемещает гильзу 20 со шпинделем. При повороте рычагов 15 на себя ползушка 18 выходит из зацепления, а ползушка 11 выталкивается и вводится в зацепление с зубчатым венцом 7. Теперь с корпусом 4 связана ступица штурвала. При перемещении ползушки 11 взаимодействуют упоры 12 и 13, подпружиненный диск 5 отжимается влево и стержнем 17 нажимает микропереключатель 19 - включается механическая подача. Для выключения механической подачи при достижении заданной глубины настраивают положение кулачка 14 относительно микропереключателя 16; при этом пользуются шкалой лимба 6, который крепится гайкой 8. Маховичком 10 перемещают сверлильную головку по рукаву.

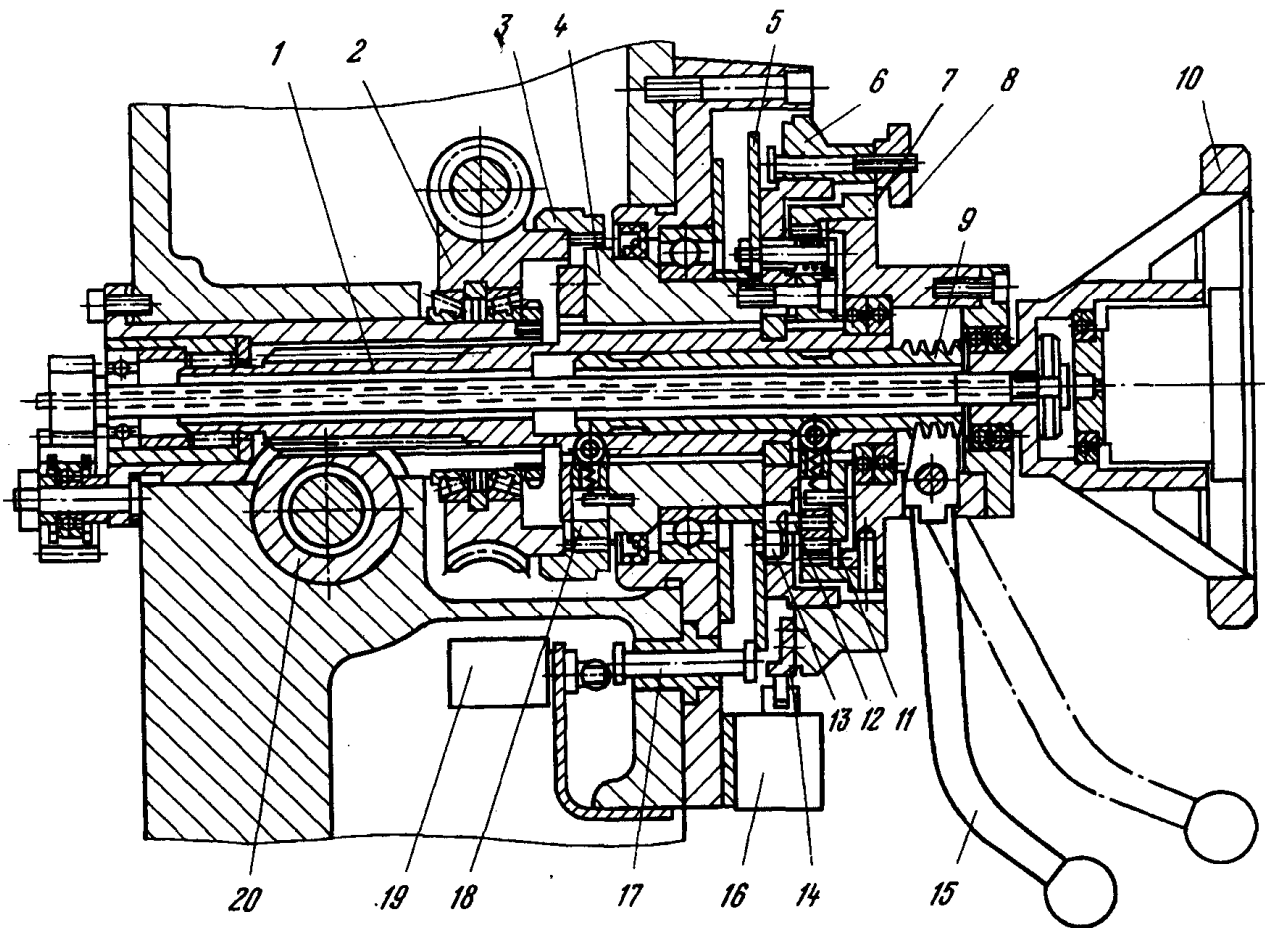


Рисунок 37 - Конструкция штурвального устройства

Колонна (рисунок 38) состоит из двух частей: неподвижной внутренней колонны 1, закрепленной на фундаментной плите, и поворотной наружной колонны 2. Наружная колонна закрепляется в нужном положении хомутом 6, охватывающим конусные поверхности фланцев обеих колонн. Зажим и разжим хомута производятся болтами 5, надетыми на валик 4 с эксцентриковыми шайбами; поворот валика (механически или при помощи специального гидроустройства) вызывает перемещение болтов 5 в нужном направлении. При освобожденной наружной колонне, под действием тарельчатых пружин 3 происходит разгрузка стыка Б от силы веса поворачиваемых узлов, что значительно облегчает поворот колонны.

Коробка подач получает вращение от вала VI (рисунок 36) и связана со шпинделем жесткой кинематической цепью, конечным звеном которой является реечная передача, осуществляющая осевое перемещение *шпинделя*, конструкция которого показана на рисунок 39. Осевая сила резания, действующая на шпиндель при обработке, замыкается через опоры шпиндельного узла, реечную пару и кинематическую цепь привода подач на корпус коробки подач, который крепится к передней плоскости корпуса шпиндельной головки.

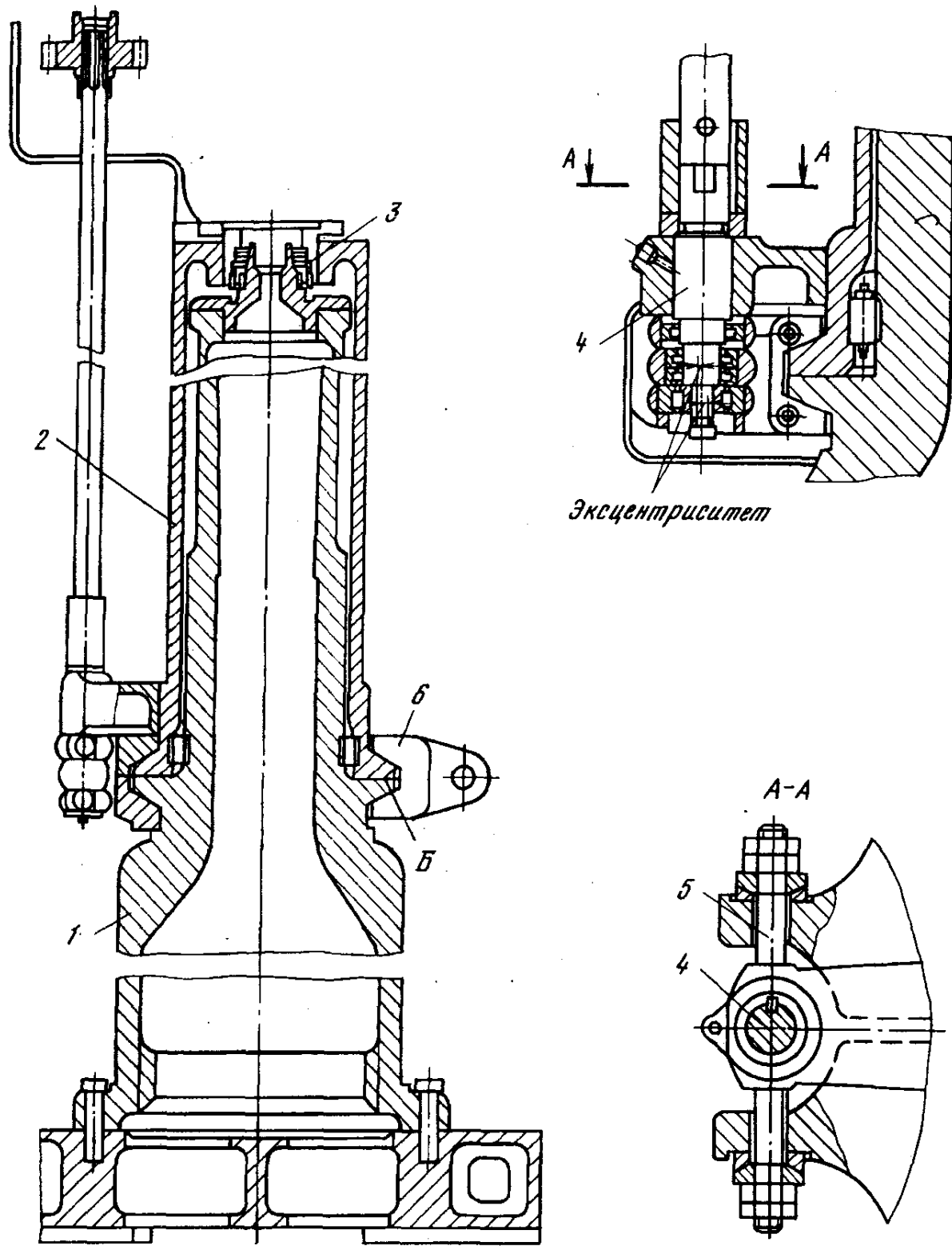
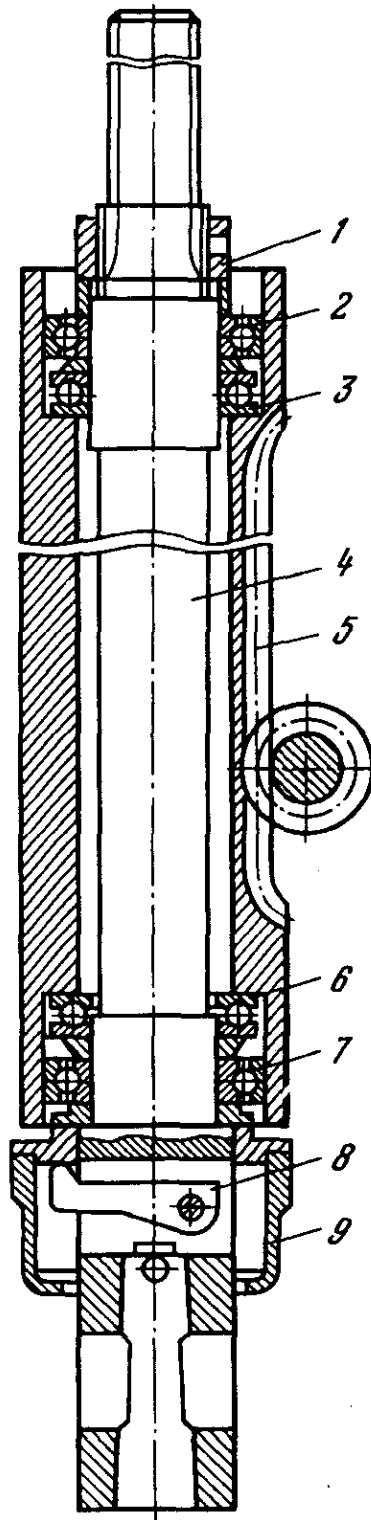


Рисунок 38 - Схема колонны



1 - гайка; 2,7 - радиальные шарикоподшипники; 3,6— упорные шарикоподшипники; 4 - шпиндель; 5 - гильза; 8 - рычаг для выталкивания инструмента из шпинделя; 9 - упорный стакан для поворота рычага

Рисунок 39 - Шпиндельный узел сверлильного станка

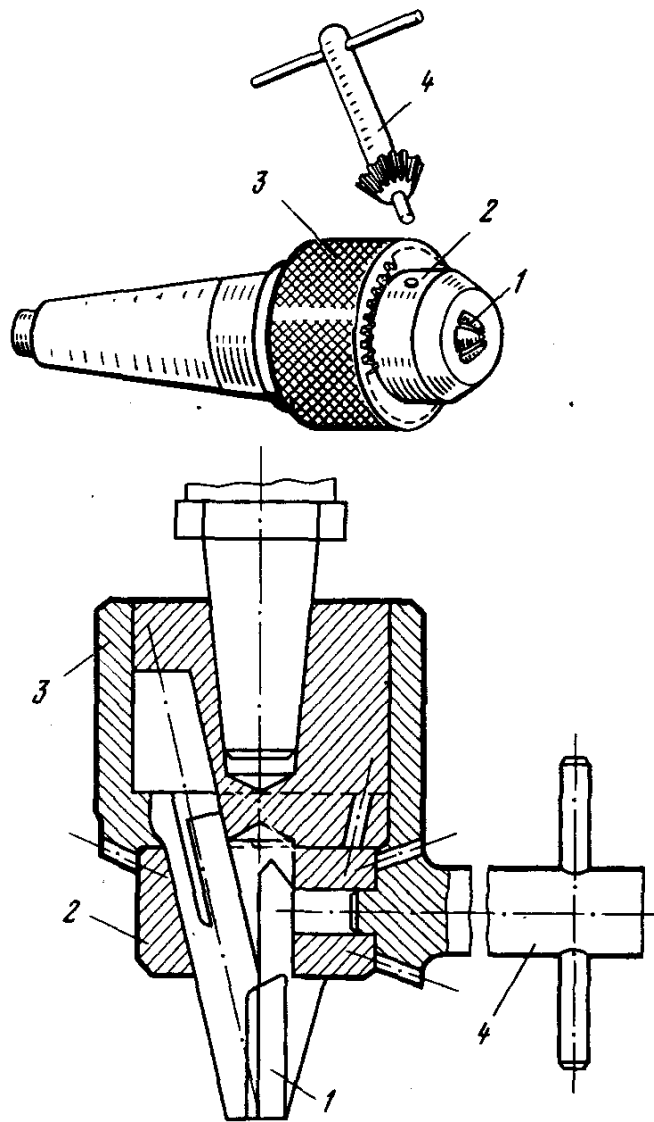


Рисунок 40 - Трехкулачковый сверлильный патрон

Для закрепления заготовок и обеспечения правильного положения инструмента относительно оси обрабатываемого отверстия при обработке пользуются специальными приспособлениями - кондукторами, имеющими кондукторную плиту со сменными (под диаметр инструмента) кондукторными втулками. Кондукторы могут выполняться накладными, когда кондукторная плита накладывается на заготовку и свободно лежит на ней или закрепляется, а также скользящими, опрокидываемыми или поворотными. Для закрепления сверл, разверток, зенкеров и других режущих инструментов в шпинделе сверлильного станка применяют следующие вспомогательные инструменты:

- переходные конические втулки с конусом Морзе семи номеров от 0 до 6 по ГОСТ 8522-79. Они используются для закрепления режущего инструмента с коническим хвостовиком, когда номер конуса хвостовика инструмента не соответствует номеру конуса в шпинделе станка;

- сверлильные патроны используют для закрепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком диаметром до 20 мм. На рисунке 40 изображен *трехкулачковый сверлильный патрон*, в котором инструменты закрепляют ключом. Внутри

корпуса патрона расположены наклонно три кулачка 1, имеющие резьбу, связывающую их с гайкой 2. Обойма 3 вращается специальным ключом 4, вставленным в отверстие корпуса патрона. При вращении обоймы по часовой стрелке вращается также гайка. Зажимные кулачки, опускаясь вниз, постепенно сходятся и зажимают цилиндрический хвостовик инструмента. При вращении обоймы в обратном направлении кулачки, поднимаясь вверх, расходятся и освобождают зажатый инструмент.

Для зажима сверл малого диаметра с цилиндрическими хвостовиками часто пользуются цанговыми патронами.

Самоустанавливающиеся сверлильные патроны (рисунок 41) применяют в тех случаях, когда требуется обрабатывать предварительно просверленные отверстия. Патроны позволяют центрировать режущий инструмент по оси обрабатываемого отверстия. Корпус патрона 1, имеющий конический хвостовик для крепления в шпинделе станка, передает вращательное движение оправке 6 через поводок 3, помещенный в глухие шестигранные отверстия. Между торцовыми поверхностями корпуса патрона и оправки установлен упорный подшипник 4. Оправка и корпус патрона соединены между собой муфтой 7, накрученной на резьбовую часть оправки. Стопорное кольцо 5 предохраняет муфту от проворачивания на оправке патрона. Внутри оправки расположена пружина 2, которая, упираясь одним концом в нижний поясок корпуса патрона, а другим в дно муфты, прижимает оправку к нижней торцовой части корпуса патрона. Такое устройство позволяет оправке патрона в процессе работы самоустанавливаться в предварительно обработанном отверстии относительно оси вращения корпуса патрона за счет зазора между кольцами упорного подшипника и торцами деталей 1 и 6, который выбирается при работе, обеспечивая самоустановку.

Предохранительные патроны (рисунок 42) служат для крепления метчиков при нарезании резьбы. Их применения улучшает качество нарезаемой резьбы и предохраняет метчик от поломок. Ведущая кулачковая полумуфта 5 пружиной 6 прижимается к ведомой полумуфте 4, свободно сидящей на оправке 7. При этом полумуфта 4 за счет соединения выступов 3 с аналогичными выступами полумуфты 5 приводится во вращение. По окончании нарезания резьбы полумуфта 4 вместе с метчиком прекращают вращение за счет резко возросшего момента сопротивления, появляющегося на метчике, поскольку происходит утыкание метчика в дно просверленного отверстия и его осевое перемещение и вращение прекращается. При этом ведущая приводом подачи станка полумуфта 5, продолжая вращаться, под действием осевой силы сопротивления со стороны полумуфты 4, преодолевая силу пружины, выходит из зацепления с выступами полумуфты 4 и начинает проскальзывать (щелкать). Из нарезанного отверстия метчик вывертывают обратным вращением шпинделя станка. Кольцо 1 служит для закрепления метчика в патроне, а гайка 8 - для регулирования величины передаваемого момента за счет сжатия или разжатия пружины 6.

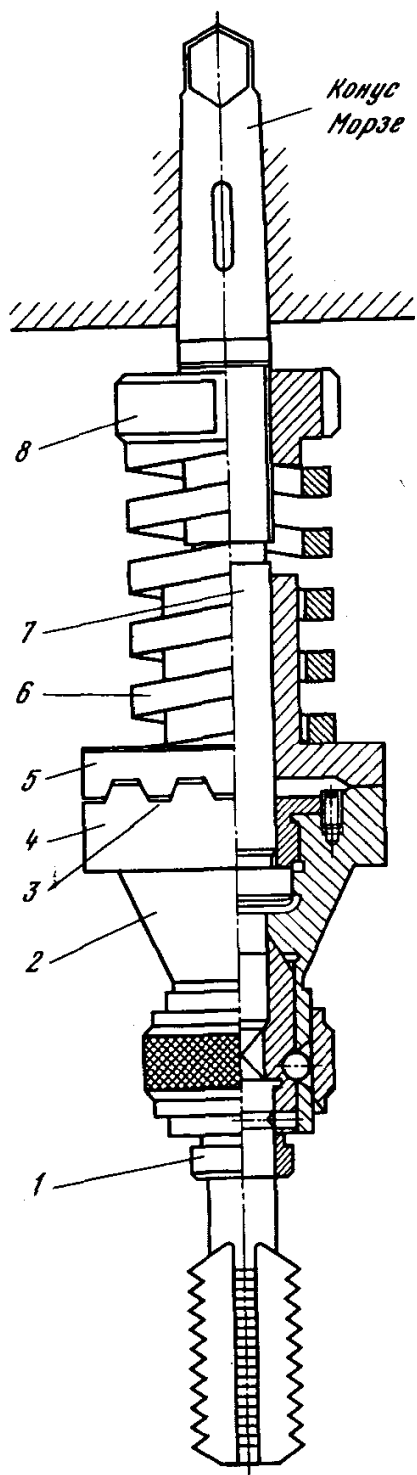


Рисунок 41- Самоустанавливающийся сверлильный патрон

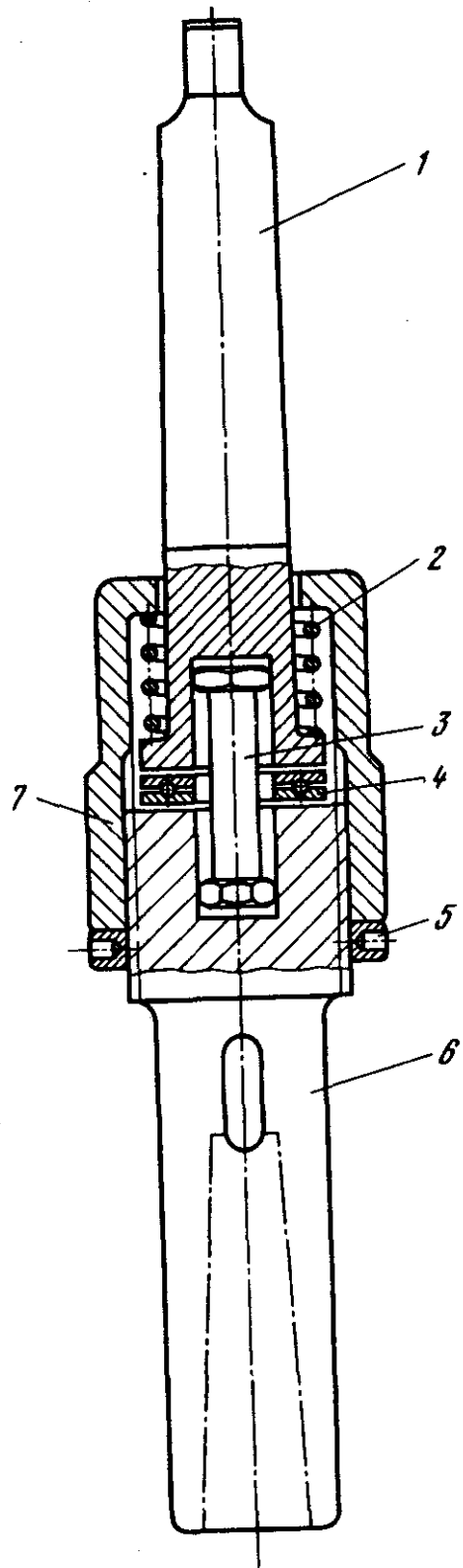


Рисунок 42 - Предохранительный патрон

8 Расточные станки

Расточные станки предназначены для обработки корпусных деталей. На них можно производить растачивание, сверление, фрезерование, зенкерование, нарезание резьб и т.п.

Расточные станки подразделяются на следующие типы:

- а) горизонтально-расточные станки;
- б) координатно-расточные станки;
- в) алмазно-расточные (отделочно-расточные) станки.

8.1 Горизонтально – расточные станки

Отличительной особенностью станков является наличие горизонтального шпинделя, совершающего движение осевой подачи. Диаметр выдвижного шпинделя, определяющий основной размер станка, лежит в пределах: $D = 80-320$ мм. Станки являются широкоуниверсальными и позволяют производить различные виды работ: растачивание, фрезерование (в том числе отверстий), сверление, подрезание торцов, нарезание резьб метчиком и резцом, зенкерование и т.п. (рисунок 43). Точность формы расточенных отверстий зависит от их размеров и колеблется в пределах от 2 до 15 мкм. Отклонение откруглости отверстий, полученных фрезерованием с использованием системы ЧПУ составляет около 30 мкм.

При использовании дополнительных сменных узлов (фрезерных головок, планшайб и др.) можно проводить фрезерование взаимно перпендикулярных плоскостей (рисунок 43, г. II), растачивать канавки при радиальном перемещении ползушки планшайбы, устанавливаемой на шпинделе, обрабатывать наружные цилиндрические поверхности (рисунок 43, г. III) и т.п.

Современные станки имеют индивидуальные приводы подач от высокомоментных двигателей для каждой оси. Величина рабочих подач достигает 12 000 мм/мин, а ускоренных - 15 000 мм/мин. Применяют контурное управление с числом осей от 3 до 8. Точность линейного позиционирования узлов составляет около 15...30 мкм на длине 1 м. Зона нечувствительности - около 5 мкм, а повторяемость - около 10 мкм. Дальнейшее повышение точности часто ограничивается температурными явлениями. Точность позиционирования поворотного стола — около 5".

Отдельные параметры технической характеристики станков (в соответствии с ГОСТ 7058-84) приведены в таблице 5.

Преимущества станков:

- 1) удобная установка, закрепление и обзор заготовки;
- 2) возможность обработки заготовок с четырех сторон без переустановки;
- 3) упрощена автоматизированная смена инструмента и стола-спутника с деталью и заготовкой.

Недостатком станков является ограничение режимов обработки в зависимости от вылета шпинделя (особенно при вылете, превышающем от 4 до 5 диаметров шпинделя).

При малом вылете эффективно используется мощность, достигающая $P \approx 0,3D$, где P - в кВт, а D - в мм.

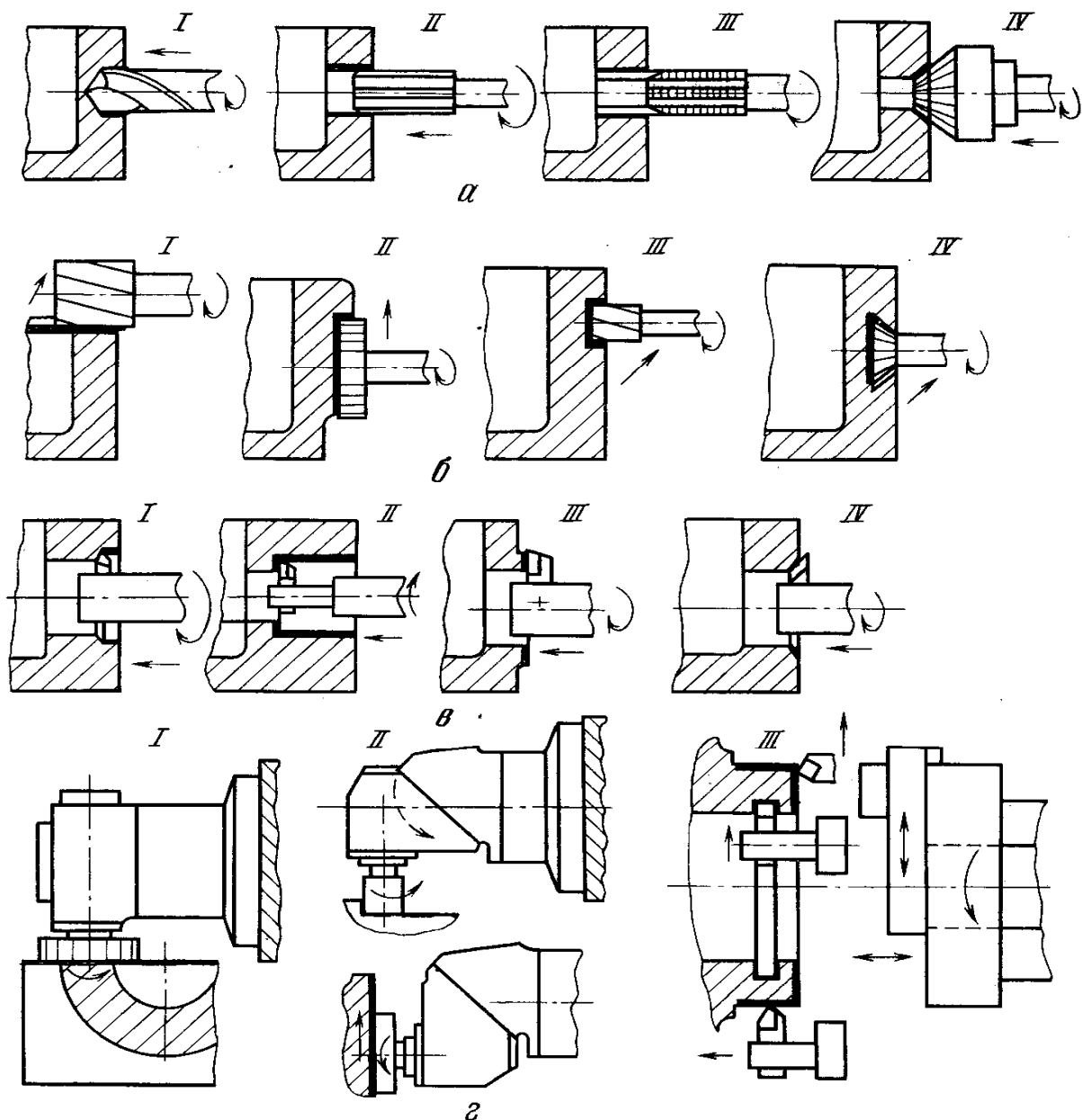


Рисунок 43 - Схемы обработки различных поверхностей на горизонтально-расточном станке

- сверление, развертывание, нарезание резьбы метчиком, зенкерование (схемы а. 1 II, III, IV соответственно);
- фрезерование (схема б-1) цилиндрической, торцовой (схема б-II), концевой (схема б-III), угловой (схема б-IV) фрезами;
- растачивание: сквозных отверстий (схема в-I), с подрезкой торца (схема в-II), подрезка торца (схема в-III), получение конической поверхности (схема в-IV);
- обработка различных поверхностей с использованием дополнительных приспособлений:
 - горизонтальных плоскостей с помощью угловой фрезерной головки (схема г-I);
 - взаимно перпендикулярных плоскостей с помощью поворотной (на 90°) фрезерной головки (схема г-II);
 - наружной поверхности, торца и кольцевой канавки с помощью планшайбы с радиально перемещаемой ползушкой (схема г-III).

Таблица 5 - Технические характеристики горизонтально-расточных станков

Наименование параметров	Величина, в мм					
	Диаметр выдвижного шпинделя	80	90	100	125	160
Ширина рабочей поверхности стола	1000		1250	1600	2000	2500
Длина рабочей поверхности стола	1120		1400	1800	2240	2800
Конус 7:24 шпинделя	40,50		50,55		60	
Наибольшее продольное перемещение шпинделя	630		710	1000		1250
Вертикальное перемещение шпиндельной бабки	1000 (710)		1250 (1000)	1600 (1400)		2500

8.2 Компоновка

Основное различие станков заключается в способе перемещения инструмента вдоль оси 2. На рисунке 44, а, д показаны схемы станков, у которых перемещение инструмента вдоль оси происходит за счет перемещения главного шпинделя 1. Дополнительное осевое перемещение (IV) осуществляется стойкой 3 (рисунок 44, а) или столом 2 (рисунок 44, б и в). Компоновки позволяют обрабатывать заготовки при постоянном вылете шпинделя. Станок с крестообразным столом (рисунок 44, в) характеризуется повышенной деформацией салазок 2 при перемещении стола 3 в крайнее положение (по оси X). Имеются известные трудности при встройке станка в ГПС, поскольку стол имеет два движения, что усложняет управление механизмом смены спутников. Этим недостаткам лишены компоновки по рисунку 44, а и б, в которых исполнительные движения распределены между столом 2 и стойкой 3.

На рисунке 44, г показана компоновка, в которой предусмотрено дополнительное осевое перемещение (W) инструмента вместе со стойкой 2 на салазках 3. Применяется при диаметре шпинделя 1 до 320 мм. Недостаток - небольшой ход стойки вдоль оси шпинделя (600-800 мм). Кроме того, крестовый ход стойки усложняет конструкцию станка. Обрабатываемая заготовка может устанавливаться как на неподвижной плите 4, так и на поворотном столе 5.

На рисунке 44, д приведена компоновка с использованием выдвижного на ход до 2000 мм ползуна 2, в котором дополнительно может перемещаться шпиндель 1 на такую же величину. Станки позволяют обрабатывать детали при вылете до 4000 мм. Такая компоновка обеспечивает обработку во всем рабочем пространстве особо крупных заготовок.

Станки различаются также по расположению шпиндельной бабки: сбоку стойки (все крупные станки) или по центру портальной стойки (с диаметром шпинде-

ля до 160 мм). Станки оснащаются механизмами автоматической смены инструмента, навесных узлов и деталей. Количество инструментов в магазине достигает 200 шт., а магазин чаще всего располагают на стойке станка либо

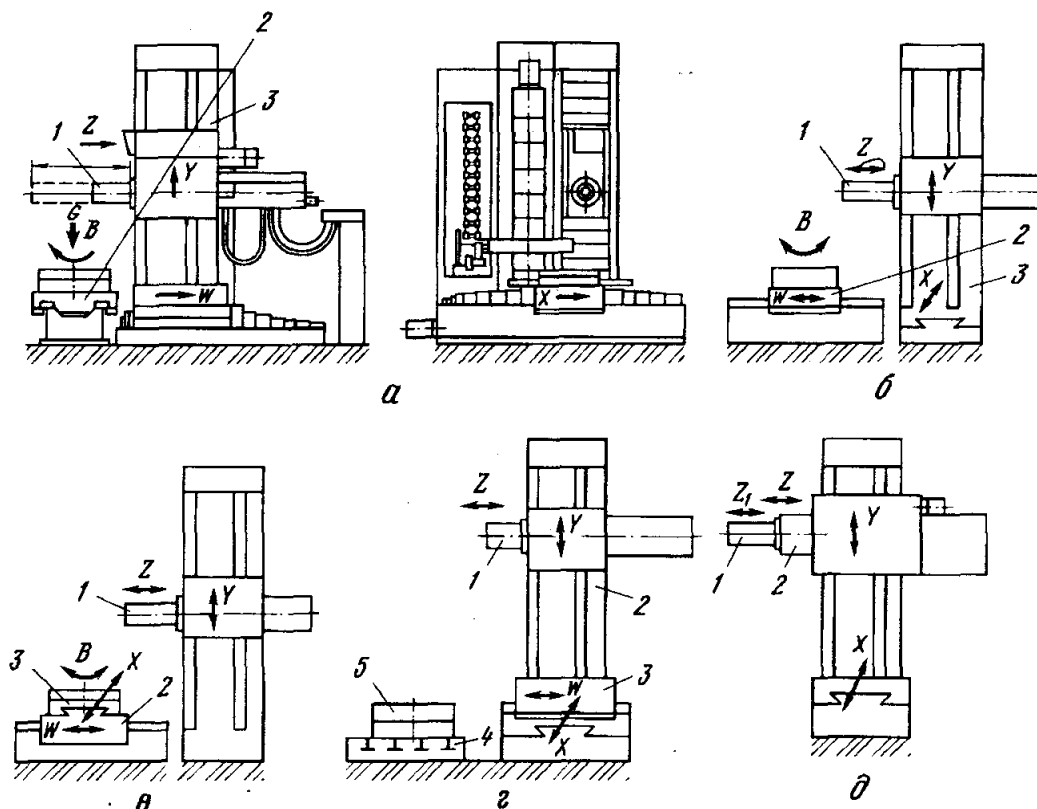


Рисунок 44 - Компоновки горизонтально-расточных станков

рядом со станком. В отдельных случаях предусматривают автоматическую замену магазина. Съемные столы-спутники размером до 3000 x 4000 мм наиболее часто применяют в компоновках на рисунке 44, а и б. Число спутников обычно не превышает двух.

Кинематическая схема станка $D=125$ мм с цифровой индикацией мод. 2П636ГФ1 приведена на рисунке 45. Привод главного движения (вращения шпинделя VI) осуществляется от асинхронного электродвигателя M_1 . Коробка скоростей обеспечивает 21 частоту вращения выдвижного шпинделя и 12 частот вращения планшайбы. При работе шпинделем вращение снимается с вала V и передается 31-78 или 54-54 при отключенной зубчатой муфте M_1 . При работе планшайбой вращение передается с вала V и передается 21-84 при включении муфты M_1 и нейтральным положением колеса $z = 49$ на V валу (шпиндель отсоединяется от коробки скоростей). Осевое перемещение шпинделя (ось VI) осуществляется при передаче вращения от регулируемого электродвигателя постоянного тока M_2 , через редуктор на винт с шагом $p = 16$ мм при включенной вправо зубчатой муфте M_2 , которая соединяет вал XIV с колесом $z = 36$ и далее передает вращение на винт. Контроль осевого движения шпинделя осуществляется по лимбу Л. От аналогичных приводов производятся вертикальное перемещение шпиндельной бабки (от двигателя M_3), а также горизонтальные перемещения стола и его поворот (от двигателя M_5) при соответствующем включении электромагнитных муфт ЭМ1...ЭМ3.

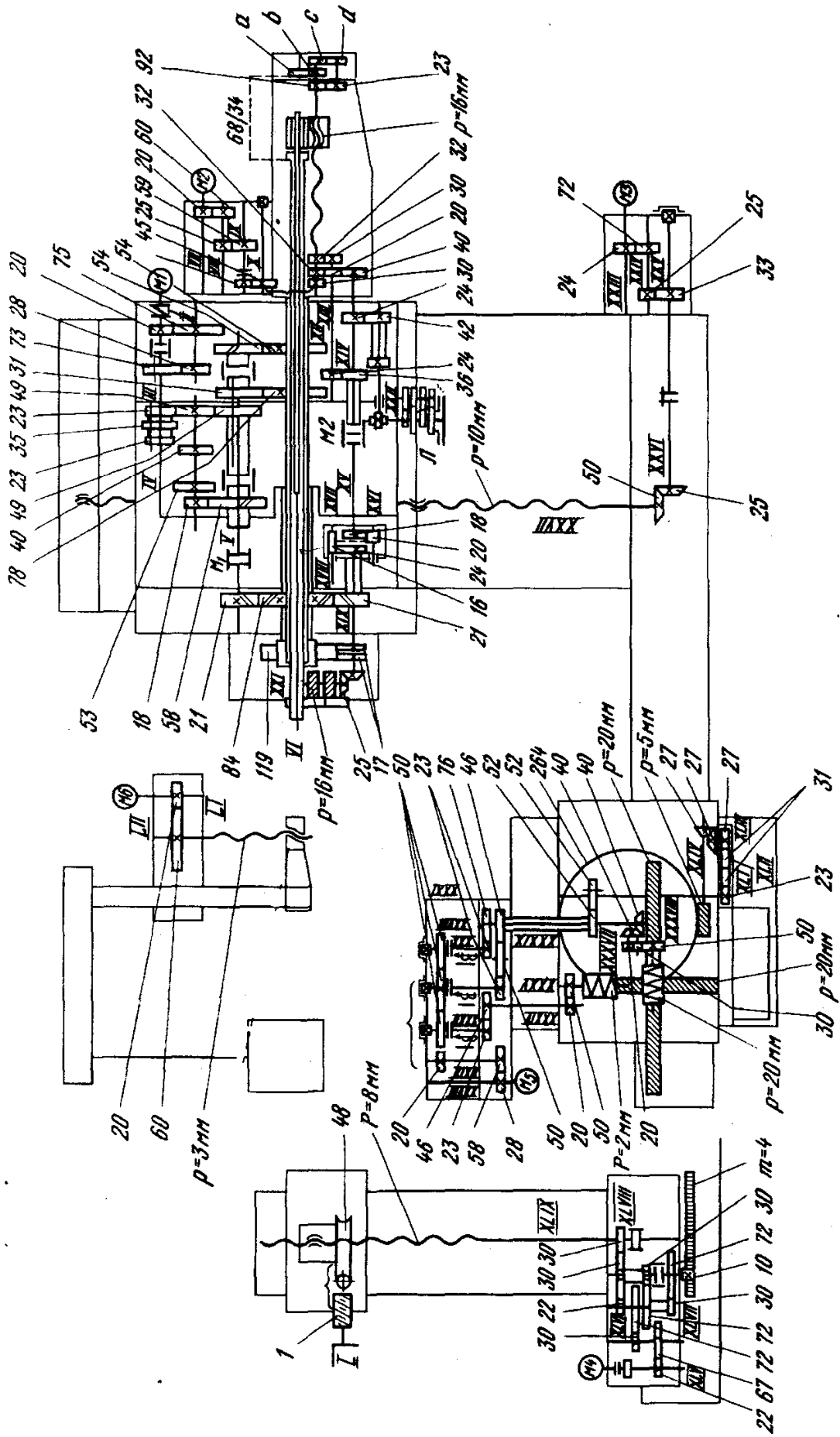


Рисунок 45 — Кинематическая схема станка модели 2П636ГФ1

В качестве тяговых устройств при перемещениях стола используются круговые рейки с шагом $p = 20$ мм.

Перемещение задней стойки (работа с борштангой) осуществляется двигателем М4, а перемещение пульта управления - двигателем Мб.

Нарезание резьб можно производить, связав вращение выдвигного шпинделя с его осевым перемещением. Для этого служит гитара $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$ (устанавливается на торце хвостовой части), передаточное отношение которой выбирается в зависимости от требуемого шага резьбы.

Колесо "а" гитары в этом случае связано со шпинделем колесами 68-34 (показано пунктиром).

Планшайба, установленная на полом шпинделе, осуществляет движение радиальной подачи ползушки с закрепленном на ней резцом. От двигателя М2 вращение передается на вал XV (при включенной влево зубчатой муфте М₂) и далее через дифференциал на конические колеса 25-25 и передачу червяк-рейка с шагом $p = 16$ мм. В левом положении муфты М₂ (при работе планшайбой) осевая подача шпинделя отключается, так как колесо $z = 36$ отсоединяется от колеса $z = 24$ вала XIV.

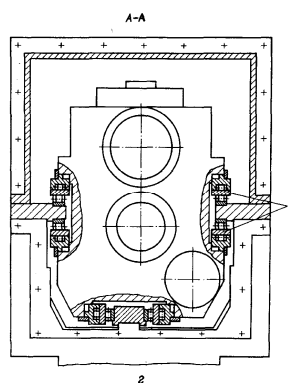
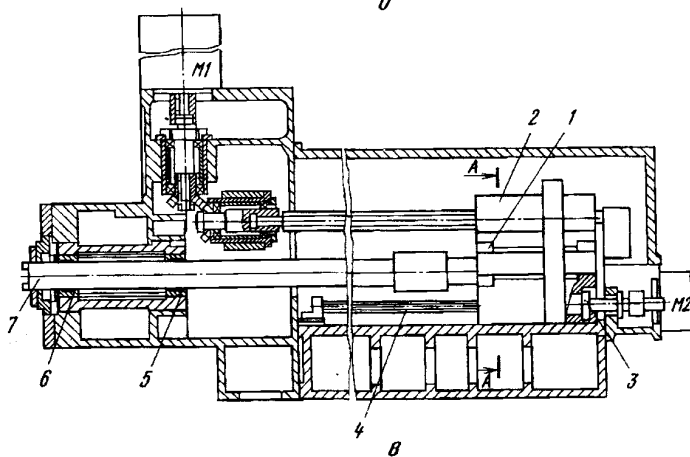
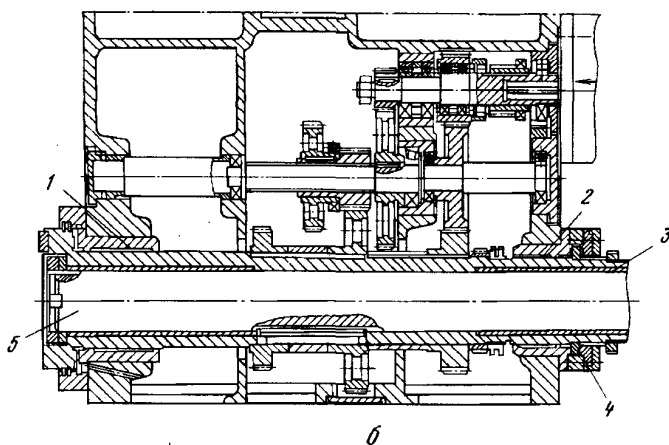
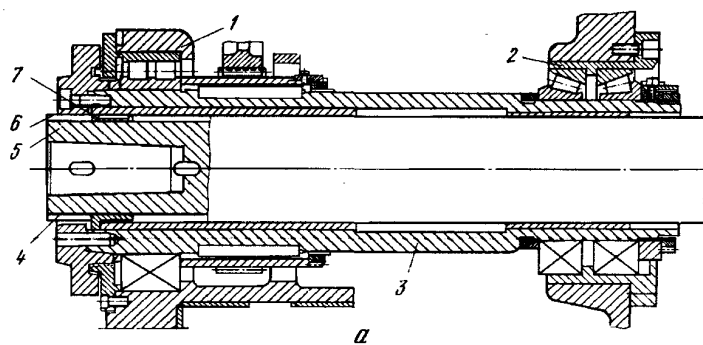
Дифференциал служит для того, чтобы при выключенном двигателе М2 (то есть радиальная подача не производится) и вращающейся планшайбе ползушка с резцом оставались бы неподвижными. Для этого колесо $z = 119$, приводимое во вращение через передачи 84 - 21 и 17-119, должно вращаться с частотой планшайбы. Передаточное отношение дифференциала выбирается таким образом, чтобы при вращении шпинделем (через передачу 84—21) водила дифференциала, его зубчатые колеса, обкатываясь относительно неподвижного вала XV, вращали бы вал XIX и далее колесо $z = 119$ с частотой вращения планшайбы.

8.3 Конструкция наиболее характерных узлов

Решающее влияние на точность, виброустойчивость и другие эксплуатационные характеристики оказывает конструкция шпиндельной бабки станков, и в первую очередь ее опор.

На рисунке 46 приведены шпиндельные узлы компоновок по рисунку 46, а, б, в. Двухрядные роликоподшипники 1 с цилиндрическими роликами в сочетании с коническими подшипниками 2 обеспечивают достаточно высокую быстроходность и жесткость полого шпинделя 3 (рисунок 46, а).

Вытеканию масла из шпоночных пазов 4 и 6 выдвигного шпинделя 5 препятствуют подпружиненные уплотнения 7. Применение гидростатических опор обеспечивает, при наличии холодильного агрегата, хорошую температурную стабильность шпиндельного узла, так как тепло удаляется из опоры вместе с маслом. Наибольшее влияние гидростатические опоры шпинделя оказывают на динамические характеристики и точность. Виброустойчивость при растачивании на черновых и чистовых операциях повышается более чем в 2 раза и 1,3 раза соответственно (по сравнению с виброустойчивостью шпинделя на опорах качения). Погрешность траектории вращения шпинделя не превышает от 1 до 2 мкм и сохраняется не менее 10 лет.



а) на опорах качения; б) с полым шпинделем на гидростатических опорах; в) на гидростатических опорах без полого шпинделя
Рисунок 46 - Схемы шпиндельного узла

В схеме 46, б опоры 1,2 и 4 полого шпинделя 3 выполнены гидростатическими, причем осевые подшипники 4 установлены в задней опоре, что облегчает монтаж шпинделя. Осевые опоры выдвижного шпинделя установлены в каретке (на схеме не показана), связанной с приводом осевой подачи.

Гидростатические опоры позволили создать конструкцию горизонтально-расточного станка, в котором полный шпиндель исключен. В этом случае как вращение, так и осевое перемещение шпинделя осуществляется в одних и тех же гидростатических опорах. Фрагмент такого шпиндельного узла показан на рис. 46, в.

От главного двигателя М1 вращение передается через двухступенчатую коробку скоростей 2 выдвижному шпинделю 7, установленному в радиальных гидростатических подшипниках 6 и 5. Кроме вращения шпиндель также перемещается в этих подшипниках от электродвигателя М2, вращающего шариковый винт 4.

Для исключения прогиба выдвижного шпинделя 7, последний связан жесткой муфтой с выходным валом коробки скоростей 2, которая перемещается в направляющих качения 1 (см. рисунок 46, в - сечение А-А) с помощью передачи 3-4 винт-гайка качения.

8.4 Столы станков

В большинстве случаев стол кроме перемещений обеспечивает круговое позиционирование поворотной части в пределах 360° . Точность позиционирования составляет от 5" до 15". Кинематические схемы приводов вращения столов, с выборкой зазора, приведены на рисунке 47.

В схеме рисунка 47,а это осуществляется при осевом перемещении червяка 1 гидроцилиндром 2, в результате которого происходит относительный поворот колес 3 и 4 и выборка зазоров в венце 5.

На рисунке 47, б зазор в зацеплении между червячным колесом 4 и соосно установленными червяками 1 и 2 выбирается гидроцилиндром 3, перемещающим в осевом направлении червяк 2. Колесо 4 выполняют коррегированным, благодаря чему поля зацепления колес с червяками удаляются от средней линии колеса и удается разместить червяки на одной оси. Для прямолинейного перемещения используют практически все типы направляющих: скольжения, комбинированные, гидростатические (рисунок 48, а), качения (рисунок 48, б), аэростатические.

В конструкции на рисунок 48,а для повышения жесткости замкнутых гидростатических направляющих на планке 3 предусмотрен уступ 4, воспринимающий нагрузку, возникающую при подаче масла в карманы направляющих (по два кармана на каждой из них). Вращение стола 1 при круговом фрезеровании и при повороте на заданный угол осуществляется от беззазорной, червячной передачи 2, выполненной по схеме рисунок 47,б. В конструкции на рисунок 48, б поворотный стол 2 с установленным на нем спутником 3 выполнен на направляющих скольжения из антифрикционного материала. Для прямолинейного перемещения используются опоры качения 4 и 5 как для базирования в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

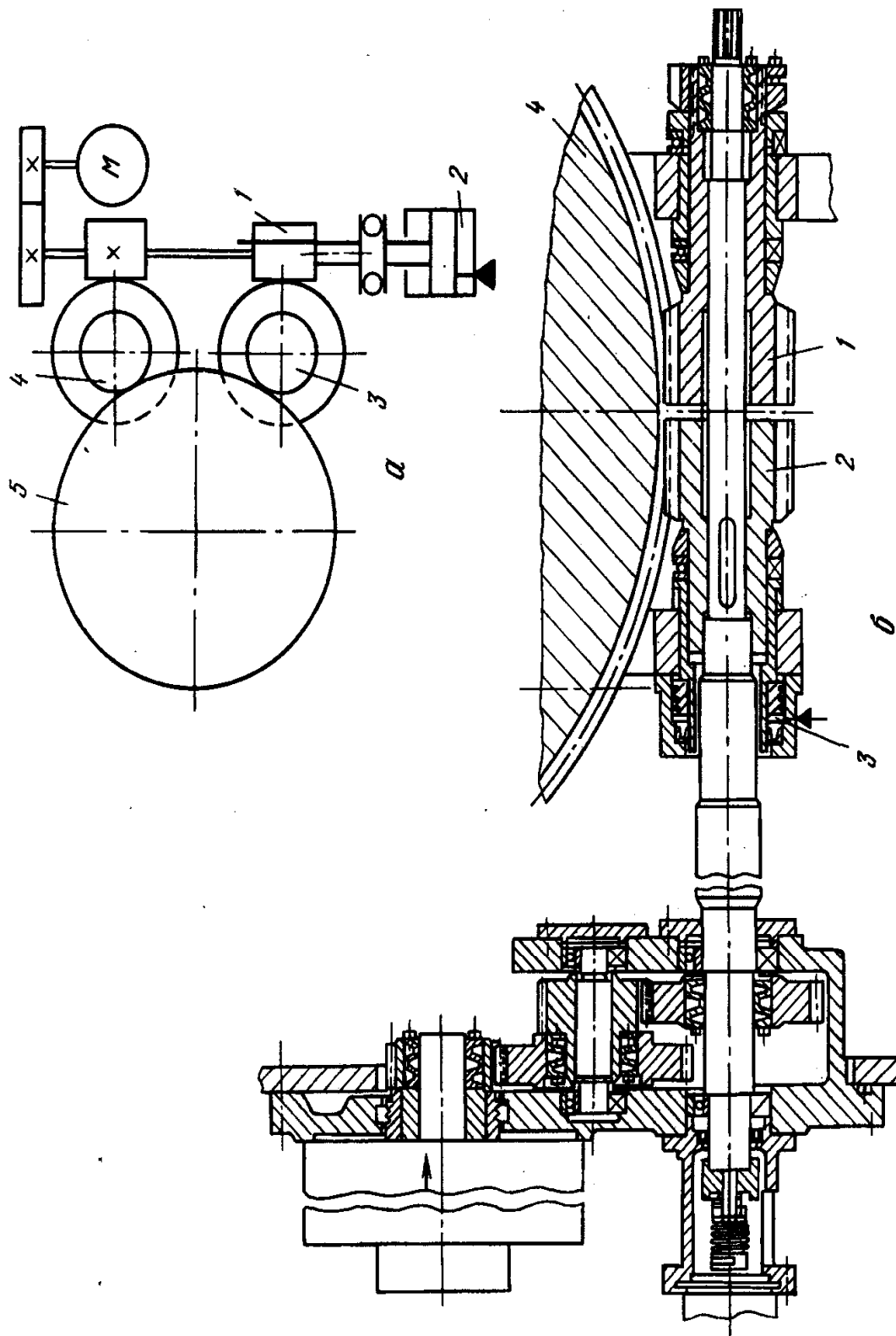


Рисунок 47 – Схемы приводов поворотного стола с выборкой зазора а) с зубчатый колесом; б) с червячной парой

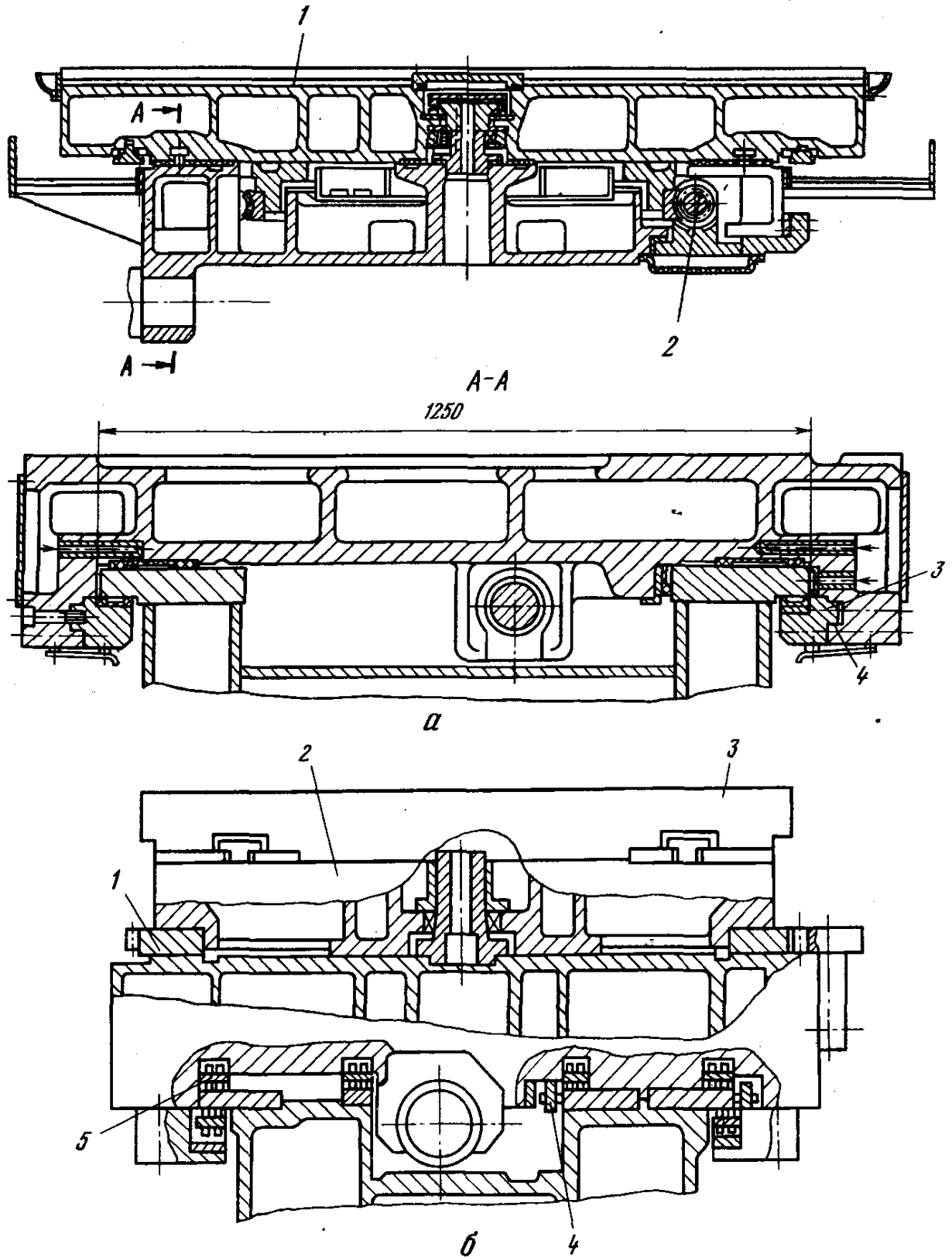


Рисунок 48 - Конструкции столов горизонтально-расточных станков
 а) с гидростатическими направляющими поворотного стола и прямолинейного перемещения; б) с направляющими качения для прямолинейного перемещения

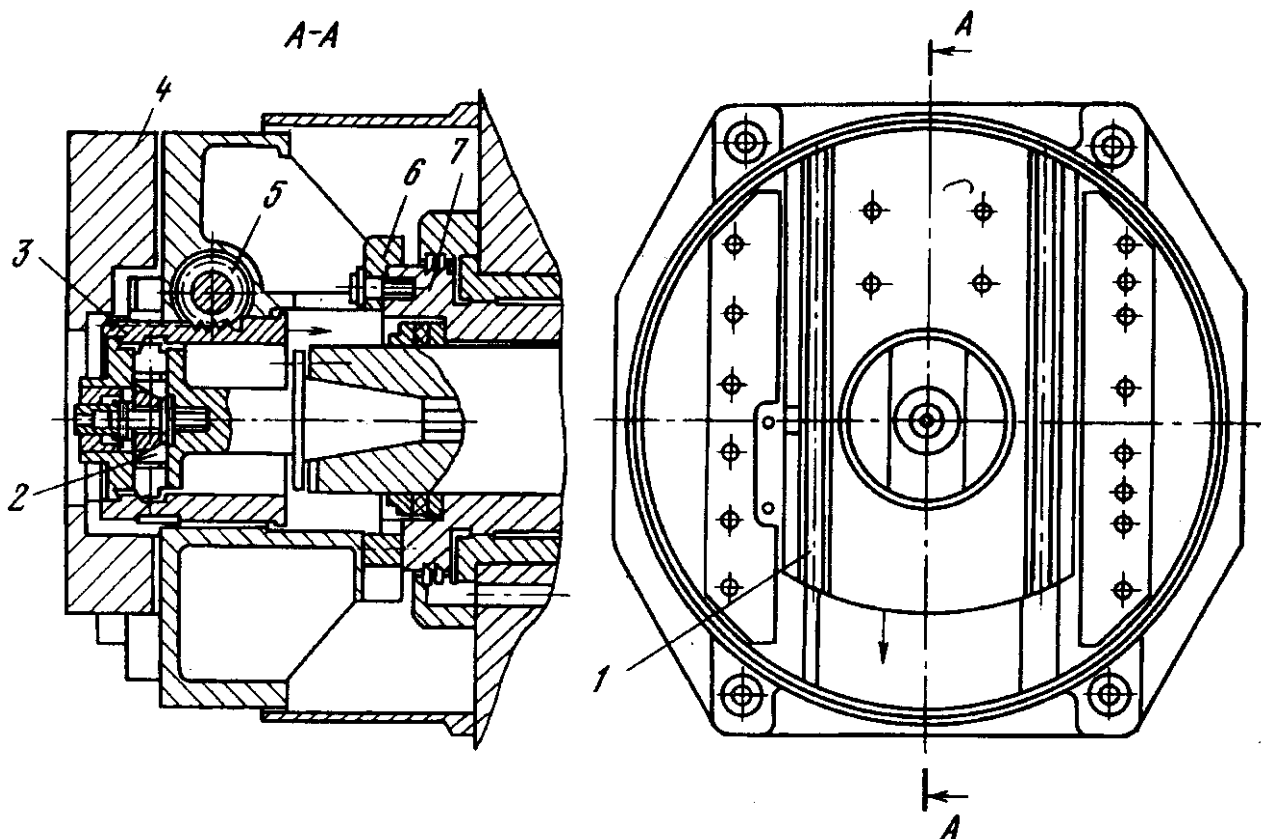


Рисунок 49 - Планшайба с ползушкой, перемещаемой в радиальном направлении

Для расширения технологических возможностей станки оснащаются различными сменными узлами: угловыми и универсальными фрезерными головками планшайбами (рисунок 49) и другими устройствами. Фрезерные головки устанавливаются на торце шпиндельной бабки (центрируясь по отверстию 1) и передают вращение от выдвижного шпинделя на рабочий шпиндель головки. С их помощью можно фрезеровать поверхности, параллельные оси шпинделя (см. рисунок 43, г, I), а также взаимно перпендикулярные поверхности при использовании поворотной универсальной фрезерной головки (см. рисунок 43, г, II).

Для подрезки торцов, растачивания канавок, обработки наружной цилиндрической поверхности (см. рисунок 43, г, III) используют планшайбу с радиально перемещаемой ползушкой (рисунок 49). Планшайба б закрепляется на торце полого шпинделя 7 шпиндельной бабки и вращается вместе с ним. Ползушка 4 получает перемещение в радиальном направлении (перпендикулярно оси шпинделя) через реечные передачи 5 (показана одна из них). Перемещение втулки-рейки 3 осуществляется выдвижным шпинделем станка. Относительное положение шпинделя и ползушки регулируется клиновым механизмом 2. На ползушке 4 в T-образных пазах 1 закрепляют резцедержатель.

9 Транспортирующие машины с тяговым элементом

9.1 Виды грузов. Характеристики транспортирующих машин

В отличие от грузоподъемных машин, которые перемещают грузы определенными порциями и обратным движением без груза возвращаются за новой порцией груза, транспортирующие машины- конвейеры предназначены для перемещения грузов непрерывным потоком без остановок для их загрузки и разгрузки. Конвейеры предназначены для работы с массовыми груза- и, т. е. грузами, состоящими из большого числа однородных частиц или кусков, или штучными грузами, перемещаемыми в большом количестве.

Все машины непрерывного транспорта можно подразделить на две группы:

-транспортирующие машины с *тяговым элементом* (лента, цепь, канат, в которых груз перемещается вместе с тяговым элементом): ленточные конвейеры, цепные конвейеры и др.,

- транспортирующие машины без *тягового элемента*: качающиеся конвейеры, винтовые конвейеры и др.

В зависимости от характера груза грузовой поток может быть осуществлен в виде сплошной струи сыпучих или кусковых грузов, а также в виде отдельных порций сыпучих или кусковых грузов и отдельных штучных грузов. Транспортирующие машины обычно используются для перемещения, как правило, груза одного вида. Транспортные операции в этом случае отличаются однотипностью и значительно легче поддаются автоматизации. На предприятиях, производящих однородные массовые грузы транспортные и перегрузочные процессы доведены с помощью конвейеров до высокой степени автоматизации.

Основной характеристикой конвейеров является их производительность— *объемная* V , м³/ч, *массовая* (в дальнейшем просто производительность) Q , т/ч, или *штучная* Z (для штучных грузов), шт/ч. Объемная и массовая производительности связаны между собой зависимостью

$$Q = \rho V, \quad (24)$$

где ρ — насыпная плотность груза, т/м³, численно равная массе единицы объема груза при свободной насыпке.

Насыпная плотность зависит от физико-механических свойств транспортируемого груза, его влажности, а также размеров частиц. С увеличением размеров частиц увеличивается насыпная плотность, так как при этом происходит относительное уменьшение объема воздушных промежутков между частицами груза. По числовому значению насыпной плотности грузы подразделяют на четыре группы: *легкие* с $\rho < 0,6$ т/м³ (древесные опилки, фрезерный торф, кокс и т. п.); *средние* с $\rho = 0,6 \div 1,6$ т/м³ (зерно, шлак, каменный уголь и т. п.); *тяжелые* с $\rho = 1,6 \div 2,0$ т/м³ (песок, гравий и т. п.); *весьма тяжелые* с $\rho > 2$ т/м³ (руда, булыжник, камень и т. п.). Значения насыпных масс некоторых грузов приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Характеристики некоторых насыпных грузов

Грузы	Насыпная плотность ρ , т/м ³	Угол α естественного откоса в покое, град	Коэффициент трения в состоянии покоя f_0	
			по стали	по резине
Опилки древесные сухие	0,2—0,3	40	0,8	0,65
Торф кусковой сухой	0,3—0,5	32—45	0,6	—
Овес	0,4—0,5	28—35	0,58	0,5
Кокс среднекусковой	0,4—0,5	30—50	1	—
Мука пшеничная	0,45—0,6	50—55	0,65	0,85
Зола сухая	0,6—0,9	40—50	0,84	—
Шлак каменноугольный	0,6—0,9	35—40	1	0,66
Уголь каменный кусковой (рядовой)	0,65—0,8	30—45	0,45—0,8	0,6
Пшеница	0,65—0,83	22—25	0,6	0,5
Цемент сухой	1,0—1,5	30—40	0,65	0,64
Земля грунтовая сухая	1,1—1,6	30—40	0,8	—
Гипс порошкообразный	1,2—1,4	40	0,78	0,82
Земля формовочная выбитая	1,25—1,3	30—45	0,71	0,61
Песок сухой	1,4—1,65	35—40	0,8	0,56
Известняк мелкокусковой	1,4—1,7	35—40	0,56	—
Щебень сухой	1,5—1,8	35—45	0,74	0,6
Гравий рядовой округлый	1,5—1,8	30—45	0,8	—
Глина сухая, мелкокусковая	1,6—1,8	40	0,75	—
Агломерат железной руды	1,6—2	45	0,8—1	—
Руда железная, мелко- и среднекусковая	2—3,5	30—50	1,2	—

Важными эксплуатационными характеристиками насыпных грузов являются также их абразивные свойства, гранулометрический состав, степень подвижности и однородность.

По абразивным свойствам грузы подразделяются на категории: *неабразивные* — продукты сельского хозяйства, зерно, опилки, щепа, штучные пакетированные грузы; *малоабразивные* — бурый уголь, каменный уголь, формовочная земля, мягкие вскрышные породы, комовая сера, глина, шамот, диас, песок, гравий, цемент; *абразивные* — железная руда, антрацит, горные породы средней твердости, кокс, рудный концентрат, известняк, магнезит, рудный агломерат, щебень; *высокоабразивные* — полиметаллические руды, руды цветных металлов, твердые горные породы, железные руды с включением кварцита.

Гранулометрический состав грузов, т. е. распределение по крупности составляющих их кусков, определяется размером наибольших частиц, которых содержится в пробе как минимум 10 %. По этому параметру грузы делят на категории: *пылевидные* (<0,05 мм); *порошкообразные* (от 0,05 до 0,5 мм); *зернистые* (от 0,5 до 6 мм); *мелкокусковые* (от 6 до 80 мм); *среднекусковые* (от 80 до 350 мм); *крупнокусковые* (350÷500 мм); *особокрупнокусковые* (>500 мм).

По однородности различают *рядовые* и *сортированные* грузы. В основу этого критерия принимается наибольший из линейных размеров частицы (куска).

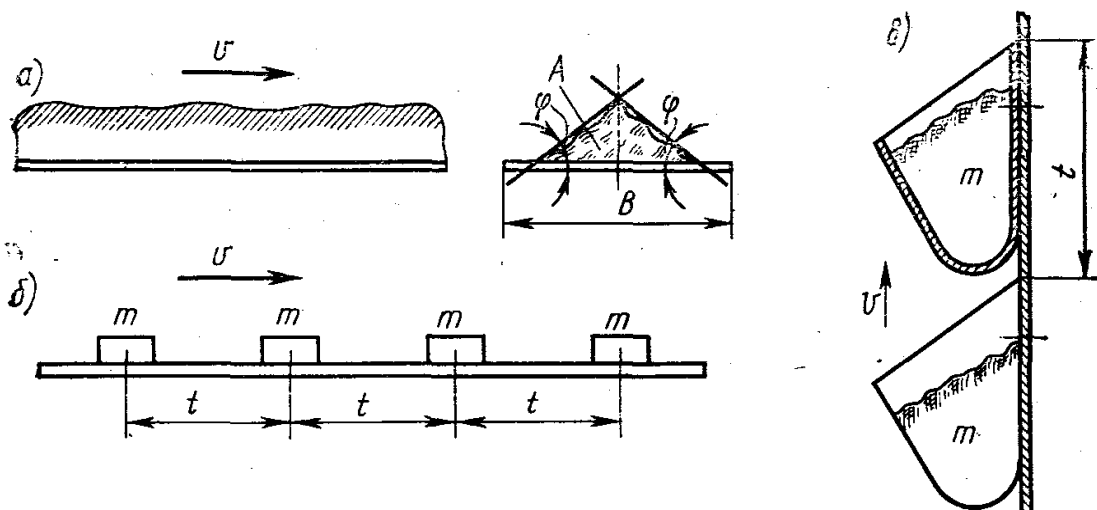
Рядовым считается груз, у которого $a_{\max}/a_{\min} > 2,5$, где a_{\max} и a_{\min} -наибольший и наименьший линейные размеры типичных кусков груза. Сортированным считается груз, у которого $a_{\max}/a_{\min} < 2,5$. Сортированный груз характеризуется средним размером:

$$a_{cp} = (a_{\max} + a_{\min}) / 2$$

По степени подвижности частиц насыпные грузы подразделяются на грузы легкой, средней и малой подвижности.

Форма и площадь сечения груза, свободно насыпанного на неподвижную горизонтальную плоскость, определяется углом α естественного откоса в покое. Значение этого угла зависит от сил сцепления между отдельными частицами, определяемых, в частности, влажностью груза, и от сил трения, возникающих при относительном перемещении частиц (см. таблица 6).

Если плоскость, на которой лежит груз, движется, испытывая сотрясения (рисунок 50, а), то груз рассыпается и угол ϕ естественного откоса в движении меньше угла α : обычно $\phi \approx 0,35\alpha$.



а - при сплошном потоке насыпного груза; б, в—при порционных и штучных грузах

Рисунок 50 - Схема определения производительности конвейера

При транспортировании сыпучего груза непрерывным потоком производительность конвейера выражается формулой

$$Q = 3600 \cdot A \cdot v \cdot \rho$$

где A - площадь поперечного сечения потока груза (рисунок 50,а), m^2 ;

v - скорость перемещения груза, м/с.

При транспортировании штучных грузов (рисунок 50,б) штучная производительность зависит от расстояния t (м), между единичными грузами:

$$Z = 3600 \cdot v / t$$

Если обозначить массу каждого груза m (кг), то распределенная погонная масса, кг/м

$$q = m/t$$

и производительность, т/ч

$$Q = \frac{m \cdot Z}{1000} = \frac{3600 \cdot m \cdot v}{1000 \cdot t} = 3,6 \cdot q \cdot v$$

9.2 Ленточные конвейеры

Ленточные конвейеры являются наиболее распространенным типом транспортирующих машин непрерывного действия во всех отраслях промышленности. Из более чем полумиллиона конвейерных установок, эксплуатирующихся в нашей стране, 90 % составляют ленточные конвейеры. Они используются в горнодобывающей промышленности - для транспортирования руд полезных ископаемых и угля при открытой разработке, в металлургии - для подачи земли и топлива, на предприятиях с поточным производством - для транспортирования заготовок между рабочими местами и т. д.

Обычно ленточные конвейеры имеют тяговый элемент 7 (рисунок 51) в виде бесконечной ленты, являющейся и несущим элементом конвейера, привод 13, приводящий в движение барабан 14, натяжное устройство 2 с барабаном 3, груз 1, роликовые опоры 6 на рабочей ветви ленты и 5 на холостой ветви ленты, отклоняющий барабан 8, загрузочное устройство 4 и разгрузочные устройства 9 и 10, разгрузочный желоб 11 и устройство 12 для очистки ленты. Все элементы конвейера смонтированы на раме.

С помощью установок, оснащенных ленточными конвейерами, можно транспортировать сыпучие грузы на весьма большие расстояния, превышающие 100 км. Для транспортировки руды на шахте Криворожского бассейна разработана конвейерная линия, состоящая из 9 горизонтальных и наклонных конвейеров общей длиной 9 км, обеспечивающая при скорости ленты 3 м/с производительность 600 т/ч. Суммарная мощность приводных электродвигателей составляет 31200 кВт.

Однако чаще всего длина одиночных конвейеров не превышает от 1 до 2 км.

Ленточные конвейеры отличаются высокой производительностью (до 30 - 40 тыс. т/ч), простотой конструкции, малой материалоемкостью, надежностью в работе и удобством в эксплуатации, относительно небольшим расходом энергии. Они могут иметь криволинейную трассу с поворотами в горизонтальной плоскости и с подъемами и спусками в вертикальной плоскости в зависимости от рельефа местности. Однако создание криволинейной трассы сопряжено с трудностями обеспечения надежного и стабильного положения ленты на криволинейном участке. Радиусы поворота ленты в горизонтальной плоскости зависят от конструкции конвейера, типа ленты и ее ширины и имеют широкий диапазон значений, до 600—800 м.

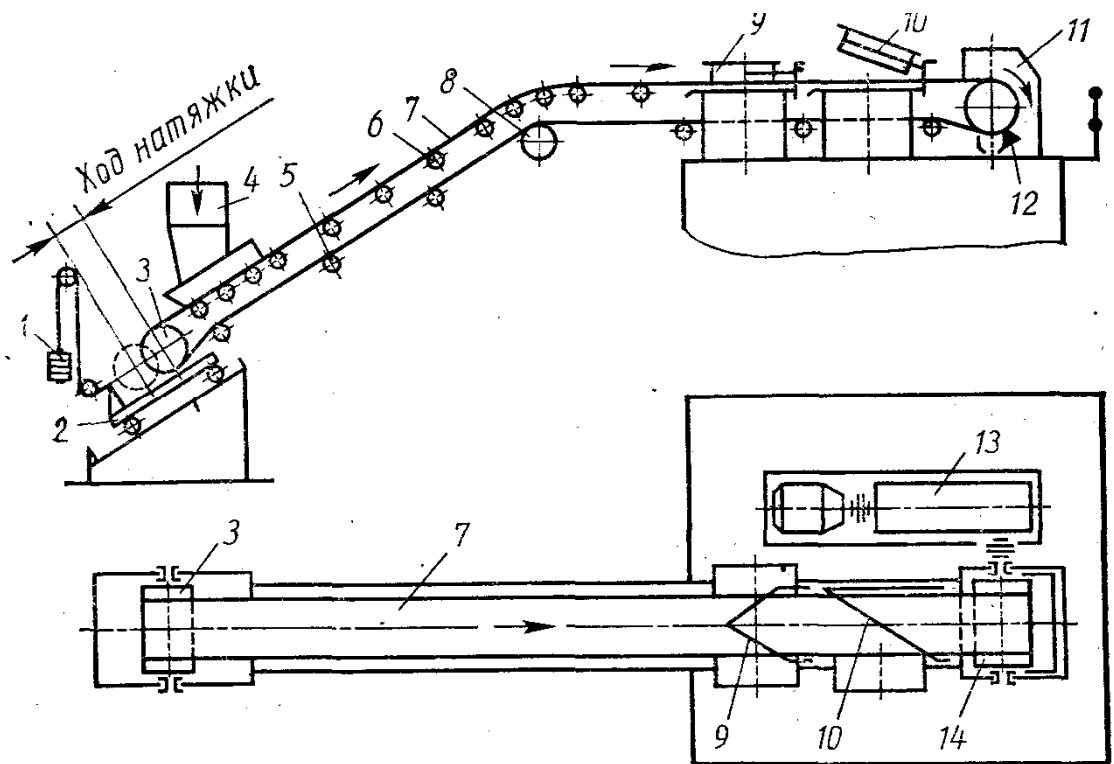


Рисунок 51 - Принципиальная схема стационарного наклонно-горизонтального ленточного конвейера

Схемы ленточных конвейеров весьма разнообразны и определяются назначением конвейера (рисунок 52). Сравнительные технико-экономические исследования и опыт проектирования и эксплуатации ленточных конвейеров показывают, что для транспортирования массовых грузов с грузооборотом от 5 до 25 млн.т/г на расстояние до 100 км применять ленточные конвейеры экономичнее, чем использовать железнодорожный или автомобильный транспорт. Достоинствами конвейерных лент являются их относительно малая масса, отсутствие быстроизнашивающихся шарниров, возможность перемещения грузов с большими скоростями. Срок службы конвейерных резиноканевых лент в зависимости от условий эксплуатации, характеристики транспортируемого груза, типа тканевого каркаса и времени одного оборота пробега ленты составляет от 5 до 48 мес. Применение ленточных конвейеров ограничено диапазоном температур от минус 60 °С до 200 °С. К недостаткам ленточных конвейеров следует также отнести пыление при транспортировании легких сыпучих грузов.

Площадь сечения груза на ленте конвейера (см. рисунок 52, а) определяется шириной ленты B и углом естественного откоса φ на движущейся ленте. Для увеличения производительности конвейера при той же скорости и ширине ленты опоры ленты конвейера конструируют так, чтобы под действием массы ленты и массы груза, лежащего на ней, лента принимала форму желоба, что увеличивает площадь A поперечного сечения груза. Во всех случаях площадь сечения пропорциональна b^2 , где $b=0,9B-0,05$ м. В зависимости от типа роликовых опор формулы для определения производительности ленточного конвейера приведены в таблице 7.

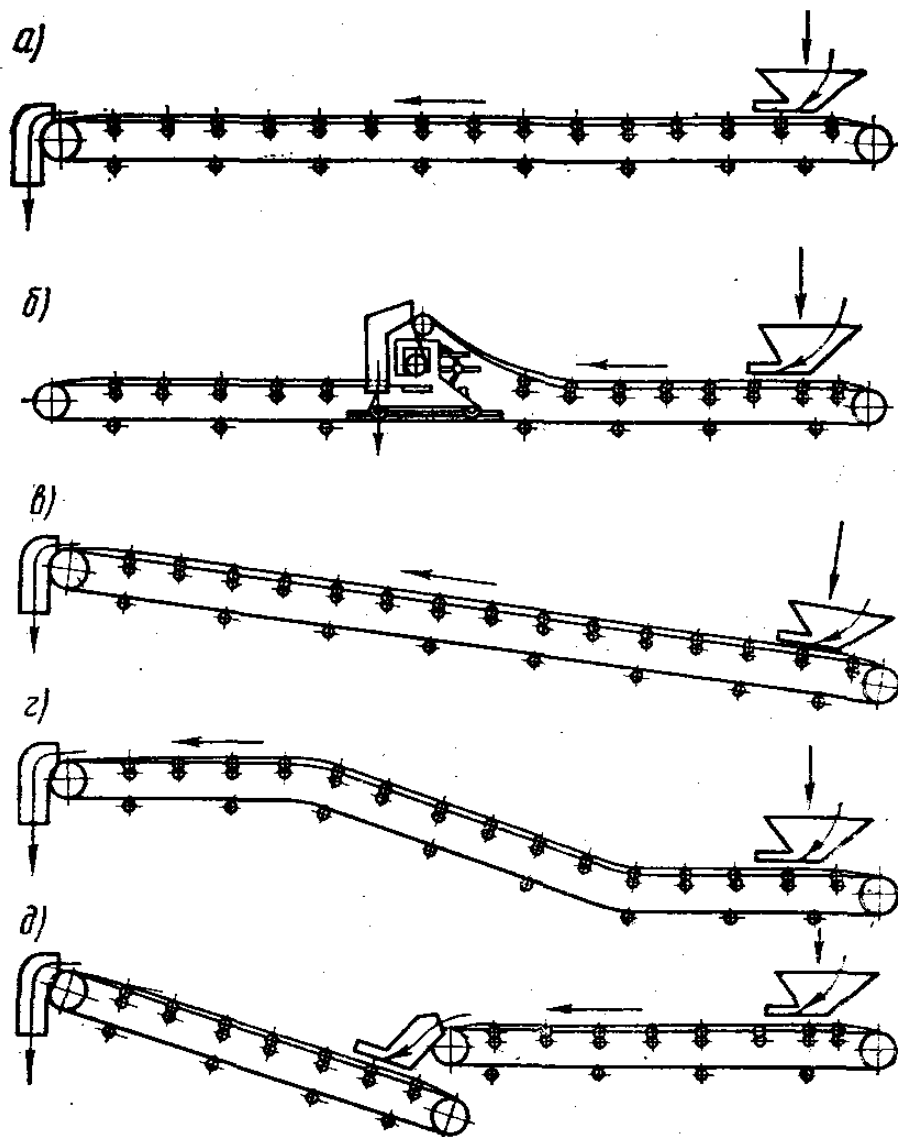


Рисунок 52 - Схемы ленточных конвейеров:

а — горизонтальный с концевой разгрузкой; б — горизонтальный с передвижным барабанным разгрузителем; в—наклонный; г — комбинированный с двумя перегибами; д—конвейерная линия из горизонтального и наклонного конвейеров

При заданной производительности Q по этим же формулам можно определить размер b и по нему в соответствии с ГОСТ 20 - 85 подбирают ленту со стандартной шириной B . Минимально допустимую ширину ленты B проверяют по *однородности груза* и для рядового груза $B_{\min} = 2a_{\max} + 200$ (м), а для сортированного груза $B_{\min} = 3,3a_{\max} + 200$ (мм).

При перемещении штучных грузов ширину ленты выбирают так, чтобы на ленте остались с обеих сторон свободные поля шириной 50—100 мм.

Чтобы груз не сползал вниз вдоль ленты, необходимо угол наклона конвейера принимать на 10° меньше угла трения груза о полотно конвейера, потому что из-за провисания полотна угол его подъема у опор больше, чем угол наклона оси конвейера, и, кроме того, на опорах полотно встряхивается, что способствует сползанию груза. Это встряхивание тем больше, чем больше скорость движения полотна и чем большее биение имеют опорные ролики.

Приведенные значения k даны для конвейера с резиновой лентой, имеющей гладкую рабочую поверхность. Эти значения справедливы только в пределах допустимых углов наклона конвейера. $\theta_{max} \leq k_1 \alpha$, где α —угол естественного откоса груза в покое (см. табл. 6), k_1 —коэффициент, зависящий от подвижности: для грузов легкой подвижности $k_1=0,35$; при средней подвижности $k_1=0,4$ и при малой подвижности $k_1=0,55$. При превышении угла θ_{max} производительность конвейера резко снижается. Рекомендуемые для некоторых грузов предельные значения угла наклона конвейера θ (град) следующие:

Апатит	16	Руда железная	15
Глина кусковая, влажная . . .	24	Соль каменная кусковая	18
Земля влажная	22	Уголь каменный рядовой	18
Известняк	18	Уголь бурый, сухой	16
Кокс рядовой	15	Цемент сухой	20

Надо отметить, что значения предельного угла наклона зависят от состояния груза, т. е. от его влажности, размеров кусков, от угла наклона боковых роликов при желобчатой ленте и т. п.

Скорость движения ленты конвейера при транспортировании сыпучих грузов назначают в зависимости от свойств груза. Для легких пылевидных грузов скорость ограничивается возможностью сдувания груза с полотна. Для крупнокусовых, тяжелых грузов скорость движения ограничена возможностью повреждения ленты вследствие ударов груза по ленте при набегании на ролики и барабаны. Для кусковых грузов, ценность которых уменьшается из-за разрушения при встряхивании ленты, таких, например, как кокс, скорость движения также снижают. Кроме того, скорость транспортирования зависит от ширины ленты: ее можно увеличить при большей ширине, так как на более широких лентах груз располагается более равномерно и лента лучше центрируется на опорах. Рекомендуемые скорости движения ленты конвейера для разных грузов при разгрузке через головной барабан приведены в таблица 8.

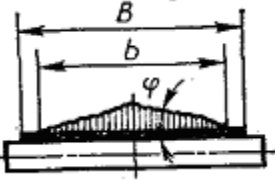
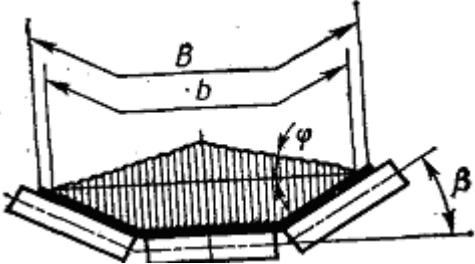
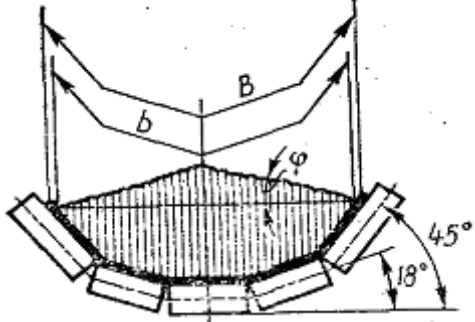
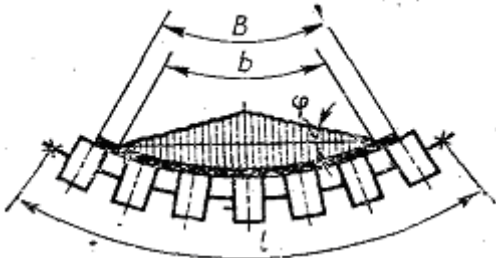
При разгрузке с помощью барабанного разгрузателя (сбрасывающей тележки) скорость ленты обычно не превышает 2 м/с, а при разгрузке с помощью плужковых разгрузателей $v=1 \div 1,6$ м/с, причем меньшие значения скорости принимаются для кусковых тяжелых грузов.

При транспортировании штучных грузов принимают следующие значения скорости движения ленты:

<i>Груз</i>	<i>v, м/с</i>
Мешки с мукой, зерном, цементом	0,5—1
Почтовые посылки в мягкой упаковке	0,8—1
Рулоны бумаги массой до 200 кг	0,3—0,5
Ящики, бочки, чемоданы массой до 50 кг	0,3—0,5

Если транспортирующая машина входит в состав технологической линии, скорость ленты назначают в зависимости от ритма технологического процесса, а также от способа загрузки и разгрузки конвейера.

Таблица 7 - Расчетные формулы для определения производительности конвейера

Поперечное сечение ленты	Угол β наклона боковых роликов, град.	Производительность конвейера Q , т/ч
	0	$900 \cdot b^2 \cdot k \cdot \rho \cdot v \cdot \operatorname{tg} \varphi$
	20 30 45 60	$b^2 \cdot k \cdot \rho \cdot v \cdot (245 + 840 \cdot \operatorname{tg} \varphi)$ $b^2 \cdot k \cdot \rho \cdot v \cdot (345 + 770 \cdot \operatorname{tg} \varphi)$ $b^2 \cdot k \cdot \rho \cdot v \cdot (470 + 610 \cdot \operatorname{tg} \varphi)$ $b^2 \cdot k \cdot \rho \cdot v \cdot (505 + 430 \cdot \operatorname{tg} \varphi)$
	18 - 54	$b^2 \cdot k \cdot \rho \cdot v \cdot (410 + 710 \cdot \operatorname{tg} \varphi)$
	-	$b^2 \cdot k \cdot \rho \cdot v \cdot (360 + 650 \cdot \operatorname{tg} \varphi)$

Примечание - Коэффициент k для грузов с различной степенью подвижности частиц в зависимости от угла наклона конвейера к горизонтالي имеет следующие значения:

Группа подвижности частиц насыпного груза	Угол наклона конвейера				
	1—5°	6—10°	11—15°	16—20°	21—24°
Легкая	0,95	0,90	0,85	0,80	—
Средняя	1,0	0,97	0,95	0,90	0,85
Малая	1,0	0,98	0,97	0,95	0,90

Таблица 8 - Рекомендуемые скорости V , м/с, ленты при транспортировании насыпных грузов

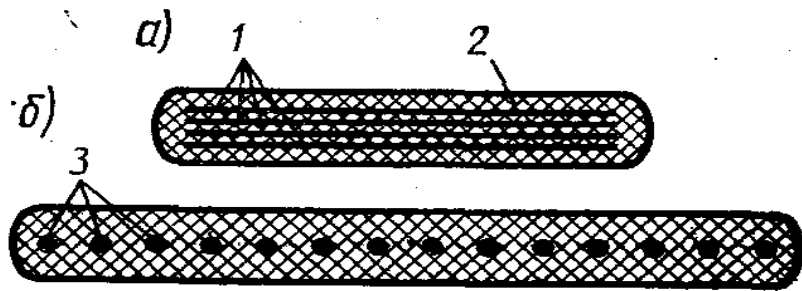
Характеристика груза	Ширина ленты, мм							
	400—500	650	800	1000	1200	1400	1600	2000
Пылевидные и порошкообразные, сухие, пылящие	1	1	1	1	1	1	1	1
Хрупкие, кусковые, крошение которых снижает их качество	1,25	1,6	1,6	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0
Зернистые, в том числе рыхлые вскрышные породы на открытых разработках	1,6	2,5	3,15	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0
Кусковые:								
$a_{\text{ср}} \leq 80$ мм	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	4,0	5,0	5,0
$a_{\text{ср}} \leq 160$ мм	1,6	1,6	2,0	2,5	2,5	3,15	4,0	4,0
$a_{\text{ср}} = 161-350$ мм	—	—	1,6	1,6	2,0	2,5	3,15	3,15
$a_{\text{ср}} \leq 500$ мм	—	—	—	—	2,0	2,0	2,5	3,15
Зерно	1,6	2,5	3,15	4,0	—	—	—	—
Овощи, фрукты, корнеплоды	0,8	0,8	1,0	1,0	—	—	—	—

Примечание - Известны ленточные конвейеры, работающие на открытых разработках угля со скоростью движения ленты, доходящей до 8 м/с.

В конвейерах применяют резиноканевые и металлические ленты. Они используются в качестве грузонесущего элемента, осуществляя одновременно и тяговую связь между барабанами конвейера. Поэтому лента должна обладать прочностью и гибкостью в продольном (на барабанах) и поперечном (на желобчатых опорах) направлениях, высокой влагостойкостью и износостойкостью рабочих поверхностей, не должна расслаиваться при многократных перегибах, должна иметь небольшое упругое и остаточное удлинение, малую гигроскопичность.

9.2.1 Ленточные конвейеры с резиноканевой лентой

Наиболее широко распространены резиноканевые ленты (рисунок 53; ГОСТ 20 - 85), состоящие из резиноканевого послойного тягового каркаса 1 и наружных резиновых обкладок 2, предохраняющих каркас от механических повреждений и от воздействия на него влаги, газов, агрессивных сред. В зависимости от условий эксплуатации и назначения изготавливают ленты общего назначения, морозостойкие, теплостойкие, пищевые и негорючие. В зависимости от типа ленты установлены диапазоны температур окружающей среды. Ленты общего назначения работают при температуре от минус 45 до +60°С; морозостойкие - от минус 60° до +60°, теплостойкие — до 100° и ленты повышенной теплостойкости — до 200°С. В ленте бывает от 1 до 8 тяговых тканых прокладок, а ширина выпускаемых промышленностью лент колеблется от 100 до 2000 мм.



1—тканая прокладка; 2—резиновая обкладка; 3 — стальные канаты
Рисунок 53 - Резинотканевая (а) и резинотросовая (б) конвейерные ленты

Увеличение числа прокладок, уменьшая напряжения растяжения ленты, в то же время снижает ее гибкость, что затрудняет огибание барабана небольшого диаметра и образование желоба ленты на роlikоопорах, расположенных под углом. При применении более широких лент трудно обеспечить равномерное распределение натяжения ленты по ширине. Неравномерное натяжение приводит к существенному снижению допускаемого натяжения.

Толщина наружных резиновых обкладок в зависимости от типа ленты и вида транспортируемого груза для нерабочей стороны колеблется от 1 до 3,5 мм, а для рабочей стороны от 1 до 10 мм. Толщина тканевых прокладок каркаса составляет от 1,15 до 2 мм.

Изготавливают тканевые прокладки из полиамидных или полиэфирных нитей, либо из комбинированных (полиэфирных и хлопчатобумажных) нитей. В зависимости от типа ткани каркаса номинальная прочность тяговой прокладки имеет различное значение (таблица 9).

Таблица 9 - Прочность тканевых прокладок конвейерных лент

Тип ткани	Марка	Номинальная прочность ткани $K_{дл}$ по ширине одной прокладки, кН/м
Ткань с нитями основы и утка из полиамидных волокон	ТА-400; ТК-400; МК-400/120;	400
	ТА-300; ТК-300; А-10-2-3Т	300
	К-10-2-3Т; МК-300/100	200
	ТК-200-2	150
	ТА-150; ТК-150	100
Ткань с нитями основы из полиэфирных волокон и нитями утка из полиамидных волокон	ТА-100; ТК-100	400
	МЛК-400/120	300
	ТЛК-300; МЛК-300/100	200
Ткань с нитями основы и утка из комбинированных (полиэфирных с хлопком) волокон	ТЛК-200	150
	БКНЛ-150	100
	БКНЛ-100	65
	БКНЛ-65; БКНЛ-65-2	

Наружные обкладки пищевых лент должны быть изготовлены из резиновых смесей, соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям (отсутствие вредных примесей), установленным технической документацией.

Учитывая сложность точного определения действительного напряжения в слоях резинотканевой конвейерной ленты при совместном действии растяжения и изгиба, расчет ленты ведут только на растяжение по максимально допустимой (расчетной) рабочей нагрузке [K] (кН/м), по ширине одной прокладки:

$$[K]=K_{пр}/n$$

где n—расчетное значение коэффициента запаса прочности ленты

$$n=n_0/(n_{нр} \cdot n_{ст} \cdot n_t \cdot n_p)$$

где n_0 - номинальный запас прочности, принимаемый:

$n_0=5$ -при проверочных расчетах по максимальным пусковым нагрузкам

$n_0=7$ - при расчете по нагрузкам установившегося движения;

$n_{нр}$ - коэффициент неравномерности нагружения прокладок, зависящий от количества прокладок:

Количество прокладок	3	4	5	6	7	8
Коэффициент $n_{нр}$	0,95	0,9	0,88	0,85	0,82	0,8

$n_{ст}$ - коэффициент прочности стыкового соединения концов ленты, принимаемый в зависимости от типа соединения:

Тип стыка	Вулканизированный	Скобами и шарнирами	Заклепками
Коэффициент $n_{ст}$	0,9—0,85	0,5	0,3—0,4

n_t - коэффициент, учитывающий влияние конфигурации трассы конвейера:

Профиль трассы	Горизонтальный	Наклонный	Наклонно-горизонтальный
Коэффициент n_t	1	0,9	0,85

n_p - коэффициент, учитывающий влияние режима по времени работы конвейера в течение суток и по производительности:

Режим работы	Весьма легкий	Легкий	Средний	Тяжелый	Весьма тяжелый
Коэффициент n_p	1,2	1,1	1	0,95	0,85

Максимально допустимую расчетную силу растяжения резино-тканевой ленты определяют по формуле:

$$T_{max}=B[K]z,$$

где B — ширина ленты;

z —число тканевых прокладок.

Высокие запасы прочности, устанавливаемые при расчете конвейерной ленты, объясняются необходимостью учета ослабления ленты в месте соединения ее концов и наличием динамических нагрузок, испытываемых лентой в процессе эксплуатации. Такие динамические нагрузки возникают в местах загрузки конвейеров и в пунктах передачи груза между сопряженными конвейерами под действием ударов кусков груза, падающих с некоторой высоты. Ударные нагрузки зависят от вида транспортируемого груза, размеров кусков, высоты падения, скорости транспортирования, силы натяжения ленты, конструкции опор ленты в местах загрузки. Значительные динамические нагрузки наблюдаются также при пуске и торможении конвейеров.

При выборе типа ленты, толщин обкладок рабочей и нерабочей сторон следует учитывать свойства транспортируемого груза (например, категорию абразивности) и условия эксплуатации конвейерных лент, которые устанавливаются по методике ГОСТ20-85 суммированием баллов, учитывающих различные данные конкретного конвейера.

Производственные условия характеризуются типом помещения, в котором установлен и работает конвейер, климатом района, где он установлен, температурой и влажностью окружающего воздуха, степенью насыщения воздуха абразивной пылью и парами (газами), вредно воздействующими на элементы конвейера. Эти условия составляют четыре группы (таблица 10).

Для увеличения производительности конвейеров применяют резинотканевую ленту с резиновыми бортами высотой от 60 до 300 мм. Для того чтобы борта при огибании барабанов не повреждались, их выполняют гофрированными (рисунок 54, а, б). Наличие бортов увеличивает площадь сечения груза, насыпанного на ленту, и позволяет увеличить скорость транспортирования и угол наклона конвейера. Допускаемый угол наклона конвейера в этом случае (благодаря боковому сжатию груза) на 2—3° больше, чем у конвейера с обычной желобчатой лентой. Борты к ленте приклеивают или привулканизуют.

Чтобы еще более увеличить угол наклона конвейера, применяют рифленую ленту (рисунок 54, в), в которой на верхнюю рабочую сторону методом горячей вулканизации прикрепляют шевронные резиновые выступы высотой от 5 до 40 мм. Для конвейеров с рифлеными лентами используют такое же оборудование, как и для конвейеров с гладкими лентами. Применение рифленых лент позволяет увеличить угол наклона конвейера до 35 - 40°. В ряде случаев для увеличения возможного угла наклона конвейера ленты снабжаются поперечными выступами высотой 5 - 40 мм (рисунок 54,б) или поперечными перегородками из плотной резины высотой 50 - 300 мм (рисунке 54, г). Для придания ленте желобчатой формы перегородки должны состоять из двух или более частей (рисунок 54, в). Перегородки несколько смещены одна относительно другой вдоль ленты, что позволяет избежать защемления кусков перемещаемого груза.

При достаточно широких перегородках угол наклона конвейерного полотна может достигать до 50 - 60°. Недостатком таких лент является сложность их очистки, и поэтому они малопригодны для транспортирования влажных и липких грузов.

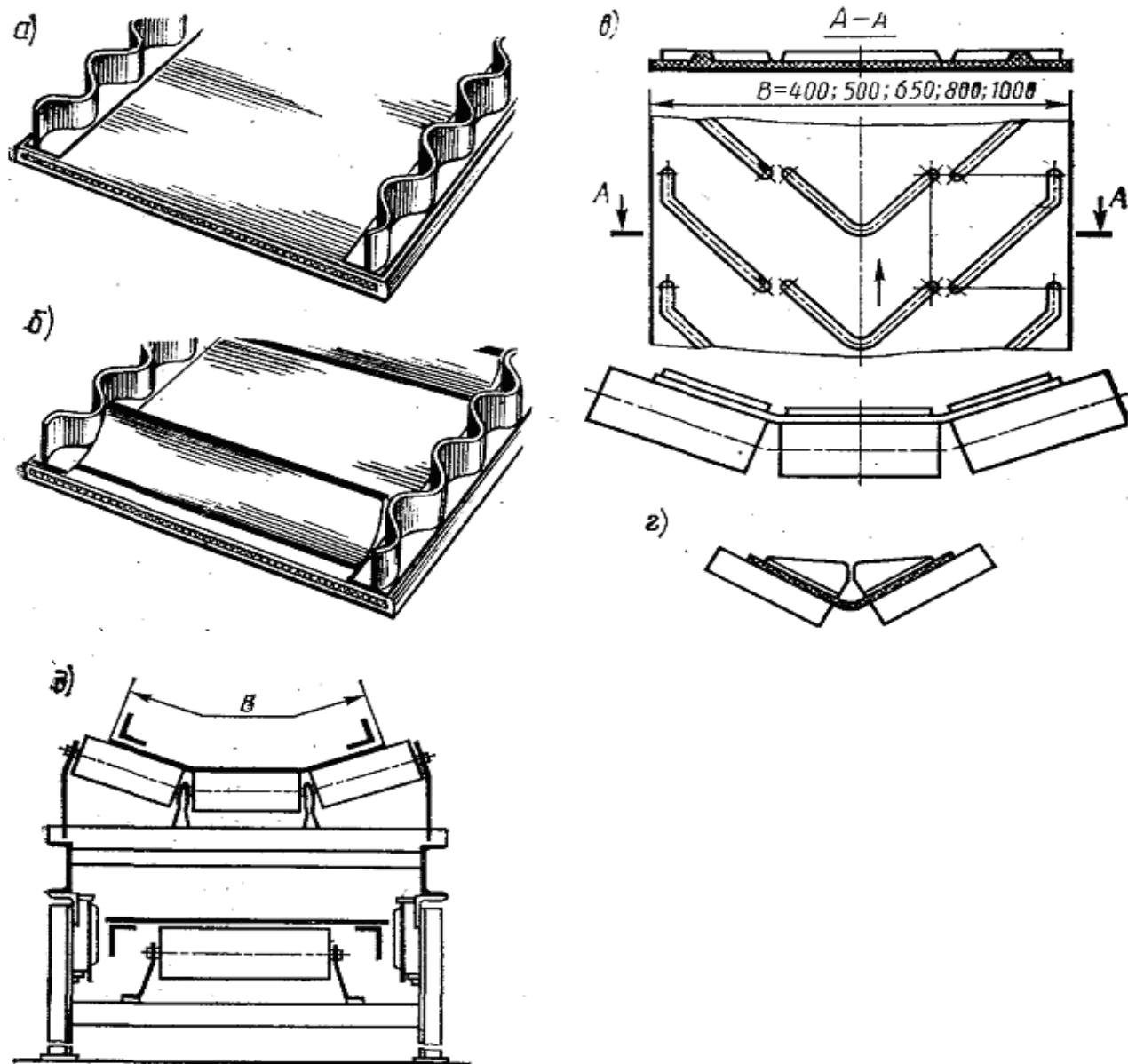
Таблица 10 — Характеристика производственных условий эксплуатации конвейера

Группа производственных условий					
Показатели	Л (легкие)	С (средние)	Т (тяжелые)	ОТ (очень тяжелые)	
1. Место установки конвейера (характеристика производственного помещения)	Чистые, закрытые, отопливаемые или охлаждаемые и вентилируемые помещения (категория 4 по ГОСТ 15150—69)	Закрытые, отопливаемые помещения производственного сооружения без регламентированного контроля температуры и влажности (категория 4 по ГОСТ 15150—69)	На открытом воздухе с непосредственным воздействием атмосферных условий в период всего года при наличии ветра и абразивной пыли (категория 1 по ГОСТ 15150—69) Навесы или легкие, временные неотопливаемые помещения, в которых колебания температуры и влажности воздуха существенно отличаются от условий на открытом воздухе (категория 2 по ГОСТ 15150—69) Неотопливаемые и невентилируемые помещения, в которых возможно длительное нахождение воды или частая конденсация влаги на стенах и потолке (категория 5 по ГОСТ 15150—69)	Закрытые, каменные, бетонные, деревянные неотопливаемые помещения с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий (категория 3 по ГОСТ 15150—69) Закрытые, отопливаемые помещения с высокой концентрацией абразивной пыли и повышенной влажностью	Исполнение ХЛТ для районов с холодным климатом
2. Климатическое исполнение по ГОСТ 15150—69	Исполнение У для районов с умеренным климатом			Исполнение ХЛТ для районов с холодным климатом	

Продолжение таблицы 10

Показатели	Группа производственных условий		
	Л (легкие)	С (средние)	Т (тяжелые)
3. Температура окружающего воздуха	10 – 35 °С	10 – 35 °С	от 45 до 40 °С (для категорий 1, 2, 3) от 5 до 35 °С (для категорий 5)
4. Относительная влажность воздуха	≤ 40 %	≤ 65 %	≤ 80 %
5. Наличие в окружающем воздухе абразивной пыли, агрессивных паров и газов	Содержание абразивной пыли не более 5 мг/м ³ , от отсутствия вредных паров и газов	Содержание абразивной пыли не более 10 мг/м ³ , вредных паров и газов 1 мг/м ³	Содержание абразивной пыли не более 10 мг/м ³ , наличие паров и газов – в верхних пределах санитарных норм

Примечание – Л – предприятие по производству приборов, радио и телевизионной аппаратуры, цехи по изготовлению одежды, почтовые экспедиции, типографии книгохранилища; С – тепловые электростанции; формовочные отделения литейных цехов; заводы резинотехнических изделий; предприятия пищевой промышленности; закрытые зернохранилища; Т – карьеры открытых разработок полезных ископаемых в районах умеренного климата; неотопляемые галереи; обогатительные фабрики металлургической, коксохимической и угольной промышленности; ОТ – карьеры открытых разработок полезных ископаемых в районах с холодным климатом; лесоразработки на открытых площадках в районах с холодным климатом.

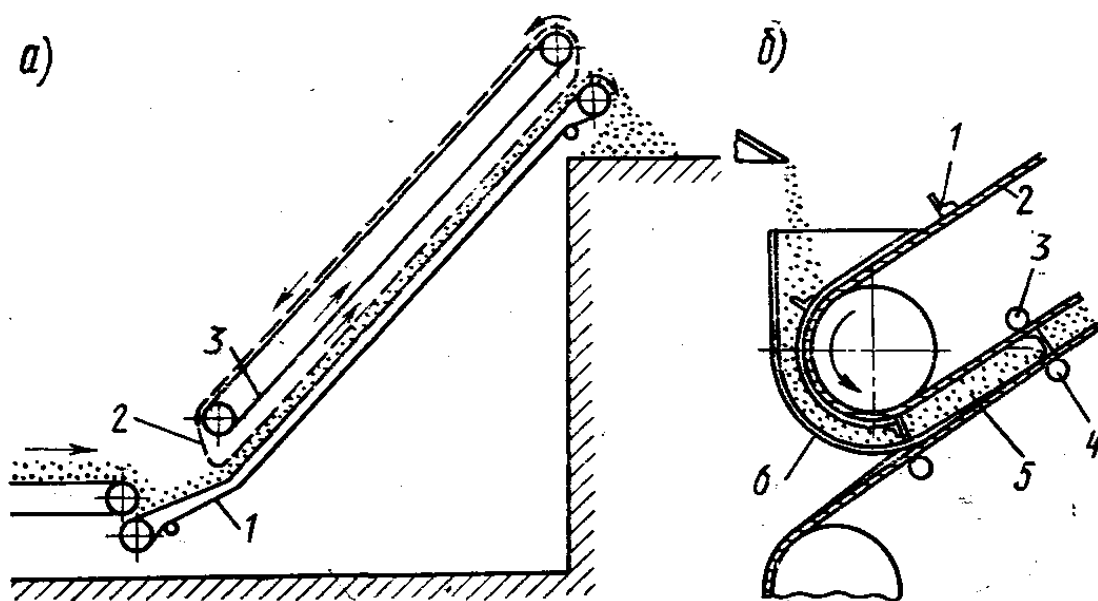


а - гладкая с гофрированными бортами; б — с гофрированными бортами и с выступами; в — с рифленой рабочей поверхностью; г — с перегородками; д — положение ленты с гофрированными бортами на роликоопорах

Рисунок 54 - Конвейерные ленты

Угол наклона конвейера существенным образом влияет на его длину. С увеличением этого угла длина конвейера уменьшается, что приводит к снижению эксплуатационных расходов, уменьшению производственной площади, снижению объема капитальных работ. Так, при высоте подъема 30 м длина ленточного конвейера с гладкой лентой при угле наклона 20° равна 82 м, длина конвейера с рифленой лентой при угле наклона 30° равна 52 м, а конвейер, имеющий ленту с перегородками, расположенную под углом 50° , составляет по длине всего 25 м. Кроме указанных выше способов удержания груза на ленте конвейера с целью

обеспечения больших углов наклона находят применение крутонаклонные двухленточные конвейеры с прижимной или с трубчатой лентой и скребково-ленточные конвейеры. В двухленточных конвейерах с прижимной лентой (рисунок 55, а) транспортируемый груз подается на загрузочный участок конвейера и прижимается к основной ленте 1 конвейера силой тяжести прижимной ленты 2, что препятствует скольжению груза вниз по основной ленте. Прижимную ленту изготавливают из обычной резиноканевой ленты или из соединенных между собой звеньев сварной цепи. В последнем случае она обладает высокой гибкостью в продольном и поперечном направлениях, что позволяет ей плотно охватывать груз как в общей массе, так и его отдельные большие куски. Прижимная лента приводится в движение лентой дополнительного конвейера 3, установленного параллельно основному и имеющего ту же скорость. Применение прижимной ленты позволяет осуществить подъем сыпучего груза при углах наклона 48 - 60°.



а - конвейер с прижимной лентой; б - скребково-ленточный конвейер

Рисунок 55 - Транспортирование сыпучего груза при большом угле наклона:

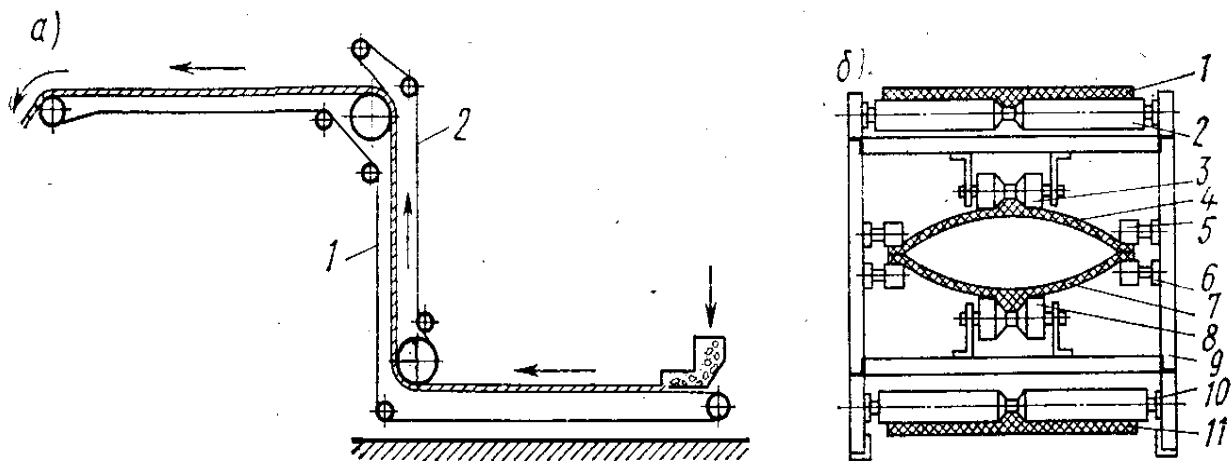
В конструкции скребково-ленточного конвейера (рисунок 55,б) к тяговой ленте 2 прикреплены скребки 1, захватывающие груз из загрузочной воронки 6 и удерживающие его от соскальзывания с рабочей ленты 5 конвейера, перемещающейся со скоростью, равной скорости тяговой ленты. Тяговая лента 2 и рабочая лента 5 удерживаются от прогиба под действием веса груза направляющими роликами 3 и 4.

В некоторых конструкциях двухленточных конвейеров ленты на рабочей ветви образуют закрытую камеру, заполняемую грузом.

В конструкции на рисунке 56,б ленты основного и вспомогательного конвейеров на нерабочей поверхности имеют продольный выступ посередине ленты, а роlikоопоры 2, 10 холостых ветвей 1, 11 и роlikоопоры 3, 8 грузовых ветвей 4, 7 ленты имеют соответствующие канавки, в которые попадают выступы лент.

Края грузовых ветвей 4 и 7 основного и вспомогательного конвейеров прижимаются друг к другу прижимными роlikоопорами 5 и 6, прикрепленными к раме 9 конвейера. Груз попадает на ленту 1 (рисунок 56, а) на горизонтальном участке. Скорости движения обеих лент 1 и 2 одинаковы.

Основные преимущества рассмотренных конвейеров следующие: простота и унификация конструкции, простота очистки ленты от прилипших частиц груза, возможность создания комбинированной трассы с горизонтальными и крутонаклонными участками различной длины, высокая экономичность. Недостатки этих конвейеров — просыпание груза на продольных стыках кромок двух лент, необходимость создать поперечные нагрузки на ленты для обеспечения стабильного положения столба сыпучего груза на вертикальном



а — схема горизонтально-вертикального конвейера; б — сечение полотна с плоской лентой

Рисунок 56 - Двухленточный конвейер:

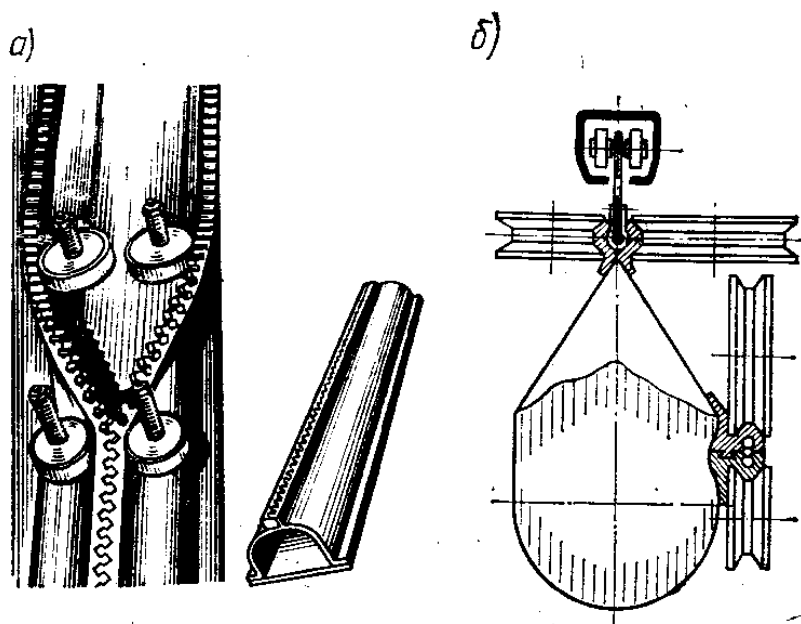
участке трассы, повышенный износ ленты, увеличение расхода энергии. Двухленточные конвейеры могут обеспечить работы с высокими скоростями (до 6 м/с) при угле наклона до 90° , причем их производительность не зависит от угла наклона.

Для транспортирования ядовитых, пылящих или портящихся от воздействия атмосферных условий материалов находит применение трубчатая лента (рисунок 57,а), которая в развернутом виде представляет собой полосу, состоящую из средней утолщенной части, снабженной несколькими тканевыми прокладками, и более гибких боковых частей с зубцами на кромках. Зубцы при свертывании ленты соединяют ее кромки с помощью замка типа застежки «молния». На участке загрузки лента открыта и образует желоб, который после заполнения ленты грузом застегивается с помощью двух пар роликoв, образуя плотно закрытую трубу. В зоне разгрузки лента раскрывается и движется в плоском состоянии, что позволяет осуществить ее очистку. Такая трубчатая лента дает возможность осуществить транспортирование материала как по горизонтали, так и по сильно наклоненным и вертикальным участкам трассы.

В некоторых случаях такие трубчатые ленты используют на подвесных конвейерах (рисунок 57, б), где лента не является тяговым элементом, роль которого выполняет специальный тяговый элемент (канат или цепь), завулканизиро-

ванный в края ленты. Это позволяет использовать более тонкие ленты. Замок может находиться как сверху, так и сбоку ленты. Скорость движения подвесных ленточных конвейеров обычно находится в пределах от 0,5 до 1 м/с. При расчетах их производительности принимается, что заполнено около 0,6 площади поперечного сечения трубы.

Для транспортирования изделий через сушильные и нагревательные камеры при температуре до 200 °С применяют специальные ленты из стекловолокна, покрытого кремнийорганическим каучуком толщиной до 6 мм, а также ленты из прорезиненной ткани с покрытием из стекловолокна.



а—ленточного конвейера; б—подвесного конвейера с боковой застежкой
Рисунок 57 - Трубчатая лента

Все более широко применяют *резинотросовые ленты* со стальными канатами, завулканизированными между слоями ткани вдоль продольной оси ленты (см. рисунок 53,6). Преимуществом этих лент является их высокая гибкость в поперечном направлении, что позволяет легко придавать им желобчатую форму, высокая прочность, малое удлинение в продольном направлении при рабочих нагрузках, повышенная долговечность. Недостатком их является сложность соединения концов ленты. В России освоен выпуск резинотросовых лент шириной от 900 до 2000 мм при прочности по ширине до 5 МН/м. Продолжаются работы по освоению выпуска ленты шириной до 2000 мм при прочности по ширине до 6 МН/м. Дальнейшее увеличение прочности конвейерных лент нецелесообразно, так как приводит к увеличению толщины ленты и ее массы, стоимости, диаметров барабанов, усложнению соединения концов ленты. Максимально допустимая (расчетная) сила растяжения тягового каркаса резинотросовой ленты равна:

$$T_{\max} = B \cdot [K_{\text{рт}}],$$

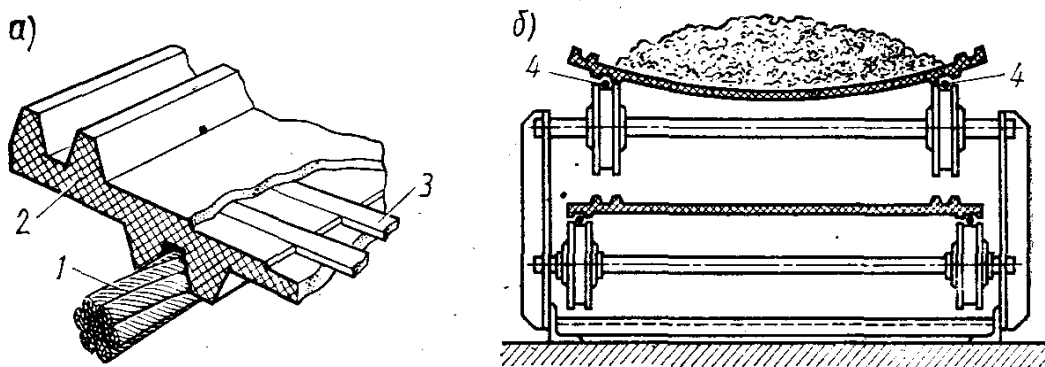
где B - ширина ленты;

$[K_{рr}] = K_{рr} / n'$ — допустимая расчетная нагрузка, численно равная силе на единицу ширины ленты;

$K_{рr}$ — номинальная прочность на разрыв;

$n = n_0 / (n_{ст} n_p n_T)$ — расчетный запас прочности (значения коэффициентов n_0 , n_p , n_T принимают такими же, как и для резинотканевой ленты; так как для резинотросовой ленты допускается только вулканизированный стык, то коэффициент $n_{ст} = 0,9$).

Для транспортирования на большие расстояния находят применение *ленточно-канатные* конвейеры (рисунок 58), в которых тяговая сила воспринимается двумя стальными канатами 1, а резинотканевая специальная лента 2 является только элементом, несущим груз. Лента ложится на канаты утолщениями, отформованными вдоль обеих кромок ленты. Тяговый канат 1 опирается на ролики 4, расположенные с шагом 5—8 м. Чтобы лента не теряла поперечной устойчивости под влиянием веса груза, ее армируют поперечными стальными пластинами 3. Благодаря им лента хорошо пружинит и сопротивляется ударам. Кромки ленты не изнашиваются, и износ самой ленты также значительно меньше, поэтому срок ее службы больше, чем обычной резинотканевой ленты. Однако такая лента очень трудоемка в изготовлении, а большие размеры приводных блоков существенно увеличивают габариты привода. Срок службы канатов относительно мал и замена их сложна. Скорость движения ленты ленточно-канатных конвейеров обычно не превышает 2,5 м/с, а производительность 1000 т/ч.



а - лента; б - поперечное сечение конвейера

Рисунок 58 - Ленточно-канатный конвейер

Аналогичную конструкцию имеют *ленточно-цепные* конвейеры, в которых тяговым элементом является цепь. Тяговые цепи этих конвейеров обычно опираются на каретки, снабженные ходовыми катками. Эти конвейеры имеют еще меньшую скорость движения вследствие возникновения динамических нагрузок в цепном приводе и соответственно меньшую производительность.

Надежность и долговечность конвейерных лент определяются в значительной степени качеством соединения их концов. Чаще всего поперечные разрывы ленты и усталостное их разрушение происходят именно в месте соединения, поэтому соединения конвейерных лент должны обладать прочностью, достаточной, чтобы воспринимать максимальную тяговую силу и удары от падения крупных кусков груза; долговечностью, сравнимой со сроком службы ленты; гибкостью в

продольном и поперечном направлениях, необходимой для придания ленте желобчатой формы и возможности огибания барабанов возможно меньшего диаметра; простотой и быстротой выполнения соединения; они должны исключать возможность вытяжки ленты и саморазъединения стыка, а также не выступать из плоскости ленты. Соединения бывают разъемными и неразъемными. К *неразъемным* относятся соединения, выполняемые с помощью горячей или холодной вулканизации, а также заклепочные соединения. К *разъемным* относятся соединения на петлях, крючках и соединения, выполняемые с помощью пластин и болтов. Разъемные соединения применяются на передвижных и переносных конвейерах, а так же при необходимости часто менять длину конвейера. Соединение методом вулканизации обеспечивает наиболее высокую прочность и отсутствие утолщений в месте стыка, что благоприятно влияет на работу барабанов, поддерживающих роликов и очистных устройств.

Резинотканевую ленту следует стыковать методом вулканизации с использованием клеев холодного или горячего отверждения. При соединении вулканизацией концы лент срезают ступенчато по одной прокладке под углом к продольной оси ленты (рисунок 59). Затем прокладки очищают и промазывают специальным клеем, после чего концы лент накладывают один на другой и выдерживают под давлением с нагревом до температуры 150 °С. Резинотросовые ленты стыкуют только горячей вулканизацией. При этом растягивающая сила компенсируется прочностью связи тросов с резиной.

Ленты из тканей типа БКНЛ-55, БКНЛ-100, ТА-100, ТК-100, БКНЛ-150 и ТА-150 шириной до 1200 мм допускается стыковать механическими способами.

9.2.1.1 Барабаны

В ленточных конвейерах различают приводные, концевые, натяжные и отклоняющие, служащие для изменения направления движения ленты, барабаны. Чем больше диаметр барабана, тем меньше напряжение от изгиба ленты и тем больше срок ее службы. При эксплуатации лент установлено, что резинотканевую ленту обычно приходится заменять из-за ее расслаивания, которое происходит от многократных изгибов ленты на барабанах. Диаметр барабана (в метрах) при резинотканевой ленте определяется по формуле

$$D_{\text{бар}} = K_1 \cdot K_2 \cdot z,$$

где z — число тканевых прокладок в ленте;

K_1 — коэффициент, зависящий от прочности ленты:

Прочность про- кладки по ши- рине, кН/м . . .	65	100	150	200	300	400
Коэффициент K_1 . . .	125—140	141—160	161—170	171—180	181—190	191—200

K_2 — коэффициент, учитывающий назначение барабана, а также натяжение ленты и угол обхвата ею барабана (таблица 11).

Таблица 11 - Значение коэффициента K_2

Барабаны	Угол обхвата барабана лентой, град	Отношение натяжения ленты, набегающей на барабан, к допускаемому натяжению			
		76—100%	51—75%	25—50%	25%
Приводные	180—240	1	0,8	0,63	—
Концевые и натяжные	180—200	1	0,8	0,63	0,5
Оборотные	70—100	—	0,63	0,5	0,4
Отклоняющие	20—30	—	—	0,4	0,32

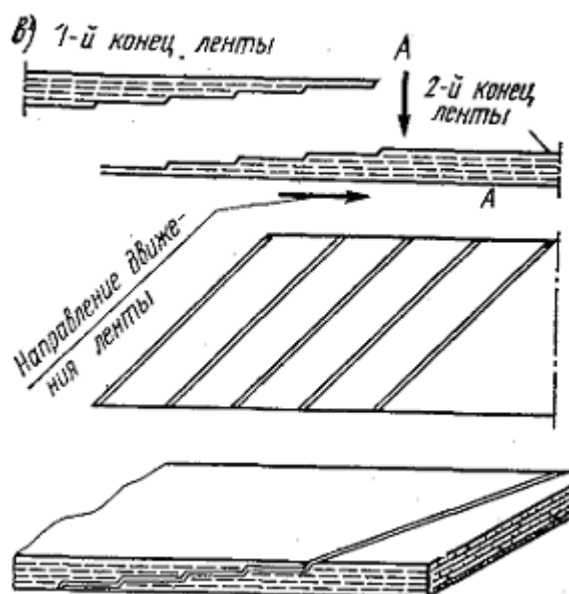


Рисунок 59 – Подготовка концов резиноканевой ленты для соединения вулканизацией

Барабаны ленточных конвейеров унифицированы. В качестве основной характеристики, используемой при выборе барабанов из установленного ряда типоразмеров, принята нагрузочная способность барабана. Для неприводных барабанов нагрузочная способность определяется как нагрузка от натяжения ветвей ленты, огибающей барабан, а для приводных барабанов, кроме того, следует учесть еще и максимальный передаваемый крутящий момент. Выбор барабанов любого назначения при проектировании производят следующим образом: при проведении тягового расчета конвейера находят максимальную нагрузку в ленте и по ее значению подбирают ленту (тип, число прокладок); затем определяют необходимые, минимально возможные диаметры барабанов с учетом значений коэффициентов K_1 и K_2 , после этого для каждого из барабанов находят радиальную силу $S_{бар}$, действующую на барабан, как геометрическую сумму натяжений ветвей ленты; при тяговом расчете определяют также крутящий момент $M_{кр}$ и окружную силу F , действующие на приводном барабане. В заключение по полученным параметрам из унифицированного ряда подбирают барабан по его нагрузочной способности,

определенной по результатам расчета осей и валов на прочность и сопротивление усталости и расчета подшипников на долговечность.

Для выбранного барабана определяют допустимое давление ленты на его поверхность по условию

$$p = \frac{360 \cdot S_{\text{бар}}}{\pi \cdot D \cdot B \cdot \alpha} \leq [p],$$

где $S_{\text{бар}}$ - результирующая радиальная сила от натяжения ветвей ленты;

D - диаметр барабана (см);

B - ширина ленты (см);

α - угол обхвата лентой барабана, град.

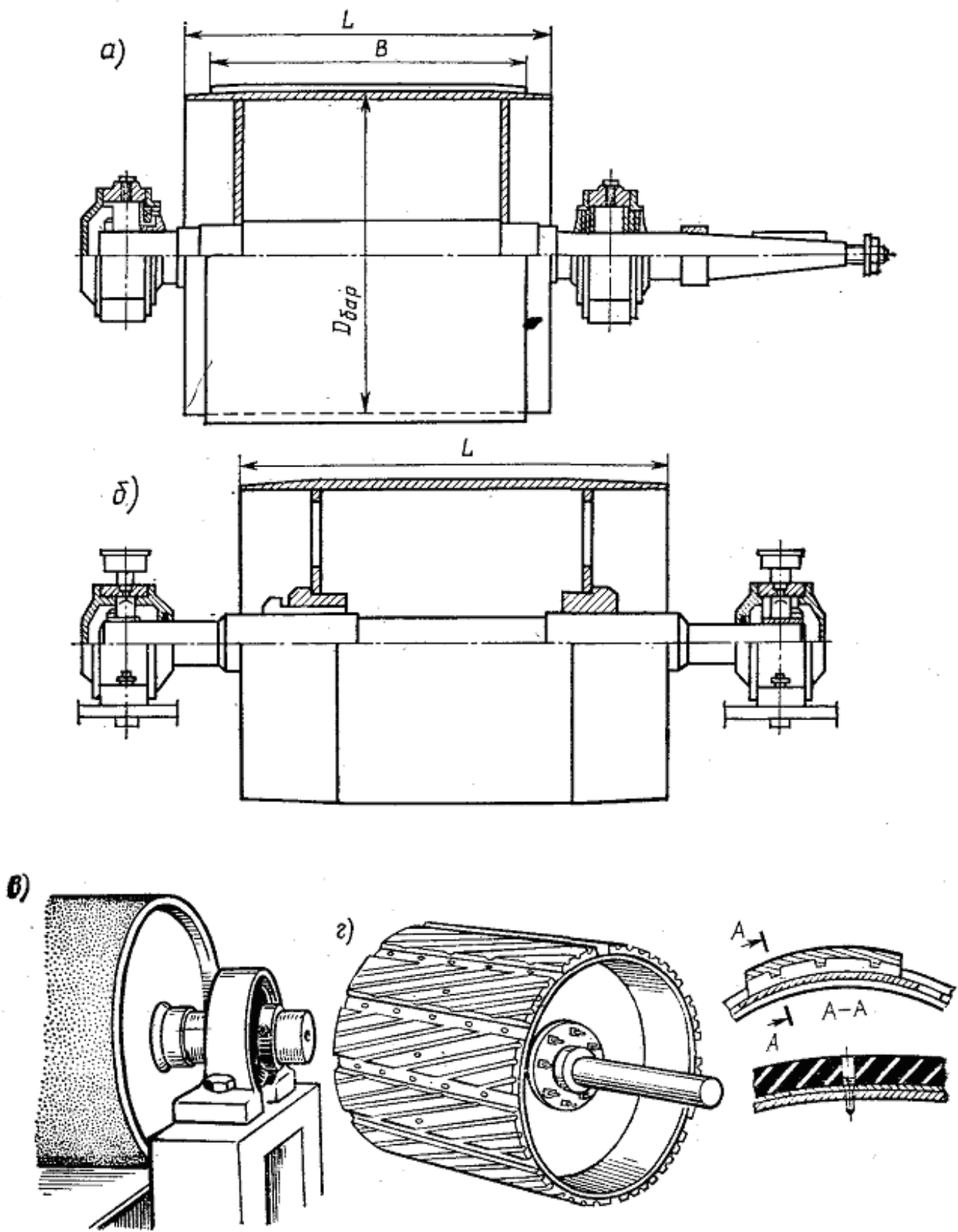
Для резинотканевых лент допускаемое давление $[p]$ от 0,2 до 0,3 МПа. Для резинотросовых лент $[p]$ от 0,35 до 0,55 МПа. Меньшие значения допускаемого давления принимаются для лент меньшей прочности, а также при работе конвейера в тяжелых режимах.

Чтобы лента не сбегала с барабанов в сторону, приводные и натяжные барабаны (рисунок 60 а, б) прежде выполняли бочкообразными со стрелой выпуклости $L/200$, но не менее 4 мм. Но надо иметь в виду, что применение выпуклого барабана приводит к повышению натяжения (до 40 %) в сравнительно неширокой центральной части ленты, что часто вызывает порчу соединения концов. Поэтому в последнее время стараются не применять выпуклых барабанов, обеспечивая центровку ленты с помощью центрирующих роликоопор.

Отклоняющие барабаны выполняют цилиндрическими. Длину барабана принимают равной $L=B+(150 \div 200)$ мм. В случае необходимости повышения коэффициента трения поверхность приводного барабана футеруют различными высокофрикционными материалами и чаще всего эластичной резиной (рисунок 60,б), обеспечивающей большой запас трения благодаря передаче части тяговой силы на дуге относительного покоя. Деформация сдвига футеровки, возникающая при этом, несколько снижает упругое скольжение ленты по поверхности барабана: в результате снижается износ футеровки и конвейерной ленты. Футеровка резиной обеспечивает стабильный коэффициент трения, f от 0,3 - 0,45.

Крепление футеровки к барабану должно быть прочным, чтобы противостоять сдвигающим нагрузкам, возникающим при передаче барабаном тяговой силы. Лучше всего приклеивать или привулканизировать футеровку к поверхности обечайки барабана или к металлическим листам, которые, в свою очередь, крепят к обечайке болтами (рисунок 60, г). Футеровку, прикрепленную последним способом, в случае необходимости легко заменить.

На конвейерах небольшой длины иногда устанавливают электробарабаны, в которых двигатель и редуктор находятся в полости барабана, что позволяет создать весьма компактную и легкую конструкцию. Однако из-за худшего охлаждения условия работы электродвигателя в этих конструкциях значительно более тяжелые.



в - приводной; б - хвостовой и отклоняющий; в - барабан, футерованный резиной;
 г - крепление футеровки к барабану

Рисунок 60 - Барабаны для конвейера с резиноканевой лентой

9.2.1.2 Поддерживающие роlikоопоры. Чтобы лента под влиянием собственной силы тяжести и веса груза не провисала, на раме конвейера устанавливают поддерживающие роlikоопоры. Ролики являются самыми многочисленными элементами конвейеров. Их ежегодно выпускают миллионы штук. От надежной и долговечной работы роlikоопор зависят в большой степени надежность и долговечность всей машины, а также потребляемая ею энергия, эксплуатационные затраты и т. п.

В зависимости от назначения существуют два основных типа конструкций роликков. В *роliках легкого типа*. (рисунок 61, а) применены шариковые подшипники со встроенными манжетными уплотнениями. Смазка подшипников — закладная, долгодействующая.

Ролики тяжелого типа (рисунок 61, б) установлены на конических роlikоподшипниках и имеют пресс-масленки для замены смазки

На базе основных типов роликков предусмотрены различные их исполнения.

Обрезиненные ролики применяют при транспортировке высокоабразивных грузов. Слой резины, наклеенный на внешнюю металлическую поверхность роliка, предохраняет его от истирания, особенно на холостой ветви, так как там лента идет по роliкам своей рабочей стороной, загрязненной остатками материала.

Амортизирующие ролики (рисунок 61, в) применяют в роlikоопорах, устанавливаемых под загрузочным узлом конвейера с целью предохранения ленты и подшипников от ударов падающего груза. Эта разновидность отличается наличием резиновых дисков или шин, надеваемых с натягом на корпус роliка и поглощающих при своей деформации энергию удара.

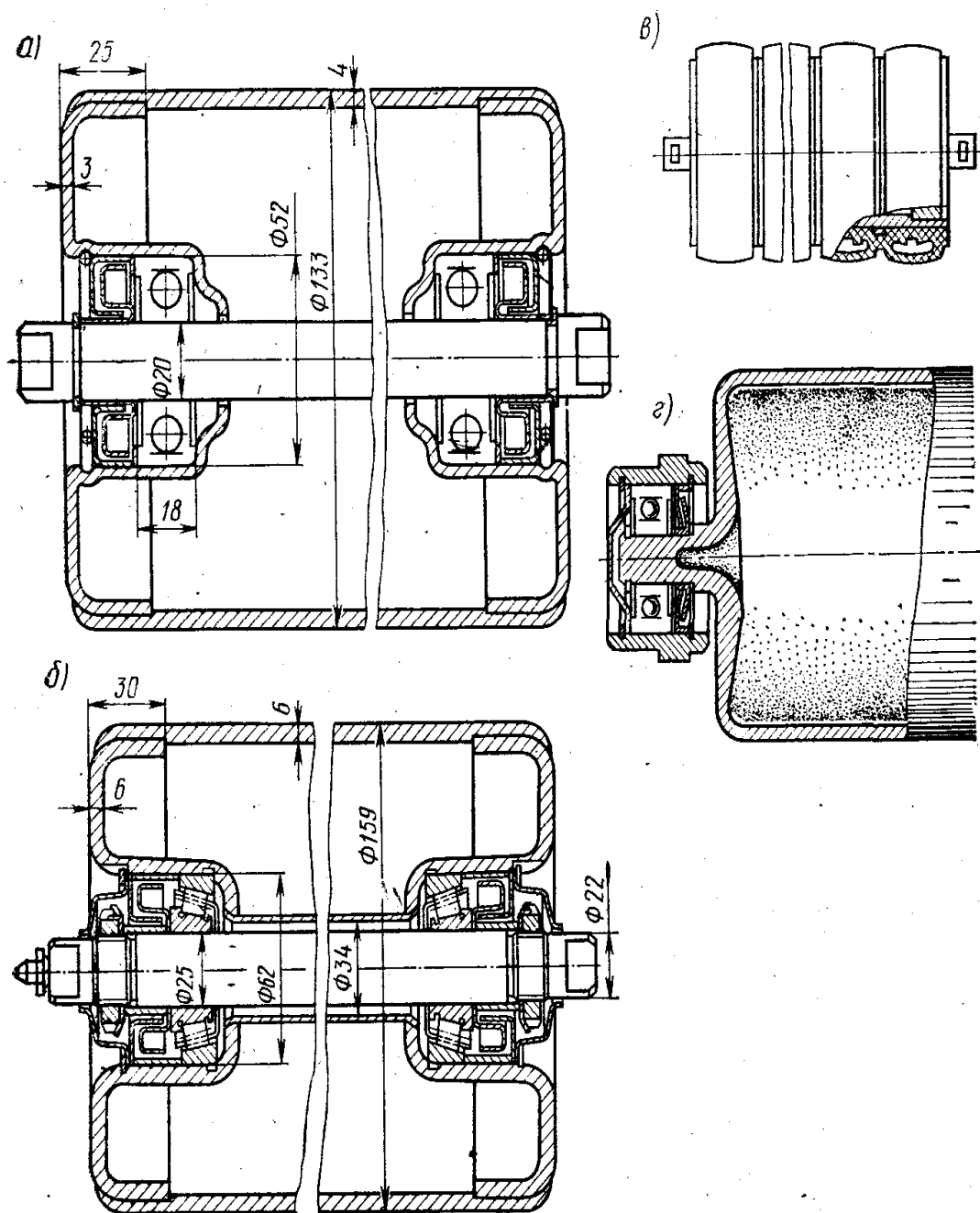
Дисковые ролики предназначены для предохранения роlikоопор от налипания на них транспортируемого груза и для очистки от него холостой ветви ленты. Этот тип роликков применяется только для холостой ветви конвейера и конструктивно представляет собой ролик с насаженными на него высокими резиновыми дисками.

В настоящее время разработана новая конструкция безвкладышного роliка (рисунок 61, г), отличающаяся высокой технологичностью изготовления. Для роликков этой конструкции не требуется дополнительной механообработки и сборки и расход металла снижается на 10—15 %. Особенностью роliка является то, что его корпус вместе с полуосями выполнен из одной трубчатой заготовки методом обкатки.

Ролики обычно изготавливают из стальных труб. Находят применение также ролики из полиэфирной смолы, армированной стекловолокном, и гибкие ролики из неопрена, имеющие большую износостойкость.

Диаметр роliка выбирают в зависимости от ширины ленты, скорости ее движения, вида груза и особенно от размеров кусков. В соответствии с ГОСТ 22646—77 установлен ряд диаметров роликков: 89, 108, 133, 159, 1194 мм. При этом ролики диаметром от 89 до 133 мм применяют в конвейерах легких и средних типов, а ролики больших размеров—в конвейерах тяжелого типа и быстросходных ($v \geq 4$ м/с) конвейерах. Шаг установки роликков в конвейерах с резиноканевой лентой на средней части рабочей ветви при транспортировании *насыпных грузов* принимается в пределах, t_p от 1 до 1,5 м. В зоне загрузки ленты шаг роликков вдвое меньше. На холостой ветви ленты шаг роликков во всех зонах вдвое

больше шага на рабочей ветви, т. е. $t_x=2t_p$. При транспортировании мелких *штучных грузов* массой до 20 кг расстояние между опорами на средней части рабочей ветви конвейера, t_p от 1 до 1,4м; для штучных грузов массой более 20 кг расстояние между роlikоопорами рабочей ветви принимается равным половине наибольшего размера груза по направлению движения конвейера.



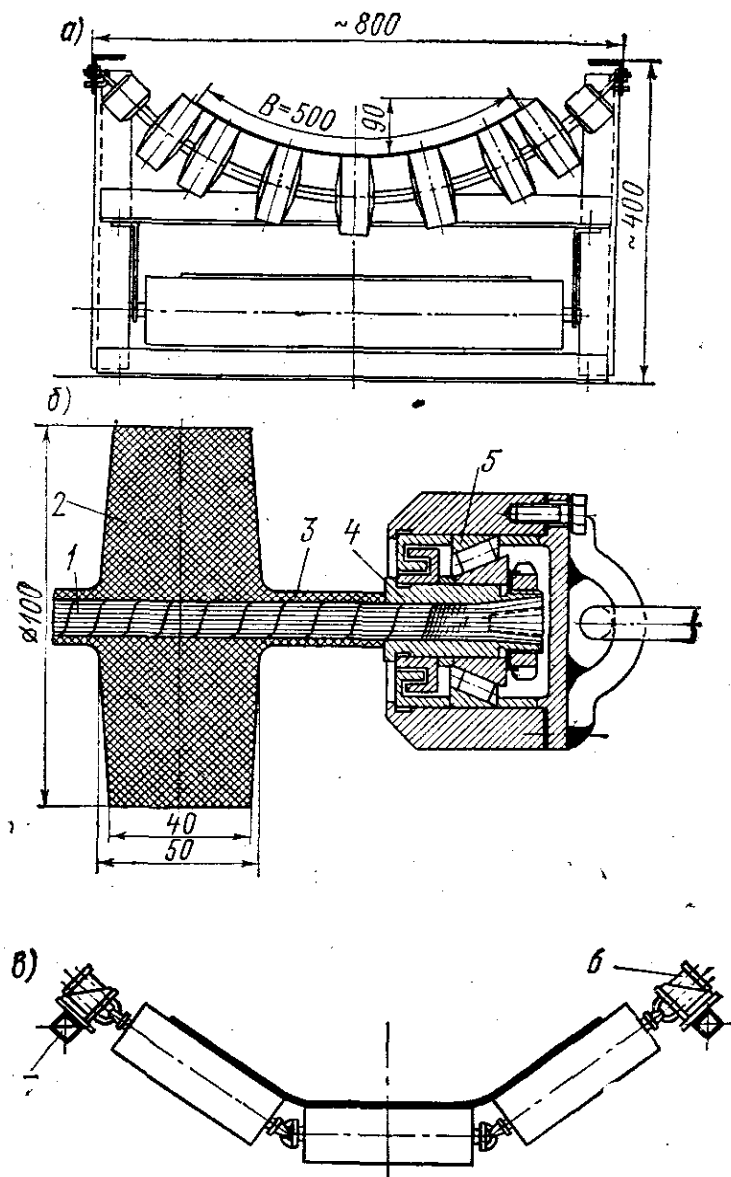
а - легкого типа; б - тяжелого типа; в - амортизирующий с резиновыми шинами; г - безвкладышный

Рисунок 61 - Конвейерные ролики

На концах оси ролика фрезеруются лыски и ось вставляется в пазы, вырезанные в раме конвейера или в кронштейне. Для увеличения площади поперечного сечения насыпного груза ленте придается желобчатая форма, для чего ролики

роликоопоры на рабочей ветви конвейера располагают наклонно (см. таблица 7). Увеличение угла наклона боковых роликов способствует центрированию ленты, уменьшая ее поперечное смещение. Основным типом желобчатой роликоопоры является роликоопора с углом наклона 30° , обеспечивающая более высокую производительность, лучшее центрирование ленты, уменьшение просыпания груза. Опоры холостой ветви чаще всего выполняют однороликовыми.

Для конвейеров с резинотканевой лентой применяют также гибкие роликоопоры рисунок 62, а, б), состоящие из стального троса 1 с резиновыми роликами 2 и трубками 3, закрепленными на ролике вулканизацией. Концы троса заделаны во втулках 4 и вращаются в подшипниках 5, установленных в неподвижных опорах на раме конвейера. С помощью такой опоры ленте также придают форму желоба, причем его глубина пропорциональна весу груза, но лента имеет несколько больший коэффициент сопротивления движению.



а - опора с роликами, набранными из дисков; б - поперечное сечение резинового ролика на тросе; в - гирляндная роликоопора

Рисунок 62 - Гибкие роликоопоры для резинотканевой ленты

Разработаны и так называемые *гирляндные роликоопоры* (рисунок 62, в), в которых оси роликов шарнирно соединены между собой. Гирляндные опоры, подвешиваемые с помощью резинового амортизатора *б* на несущие элементы *7* рамы, имеют повышенную податливость, смягчающую динамические нагрузки, обеспечивают лучшее центрирование ленты, уменьшают металлоемкость рамы конвейера. Однако их применение ухудшает условия формирования потока груза вследствие боковой податливости гирлянд в пунктах загрузки и создает раскачивание гирлянд в направлении движения ленты.

Надежность и долговечность конвейерной ленты в значительной мере определяются центровкой ленты относительно продольной оси конвейера.

Лента сдвигается в сторону при работе конвейера из-за некачественного его монтажа, серповидности ленты, несимметричной загрузки и т. п., поэтому конвейеры оснащаются специальными устройствами — *центрирующими роликоопорами* для центрирования ленты. В такой роликоопоре (рисунок 63) узел роликов монтируется на рамке *1* с цапфой *2*, обеспечивающей возможность поворота роликоопоры относительно вертикальной оси. Сбегая в сторону, лента своей кромкой нажимает на центрирующий ролик *3*, что приводит к повороту рамки *1*. При этом возникает сила, возвращающая ленту в нужное положение.

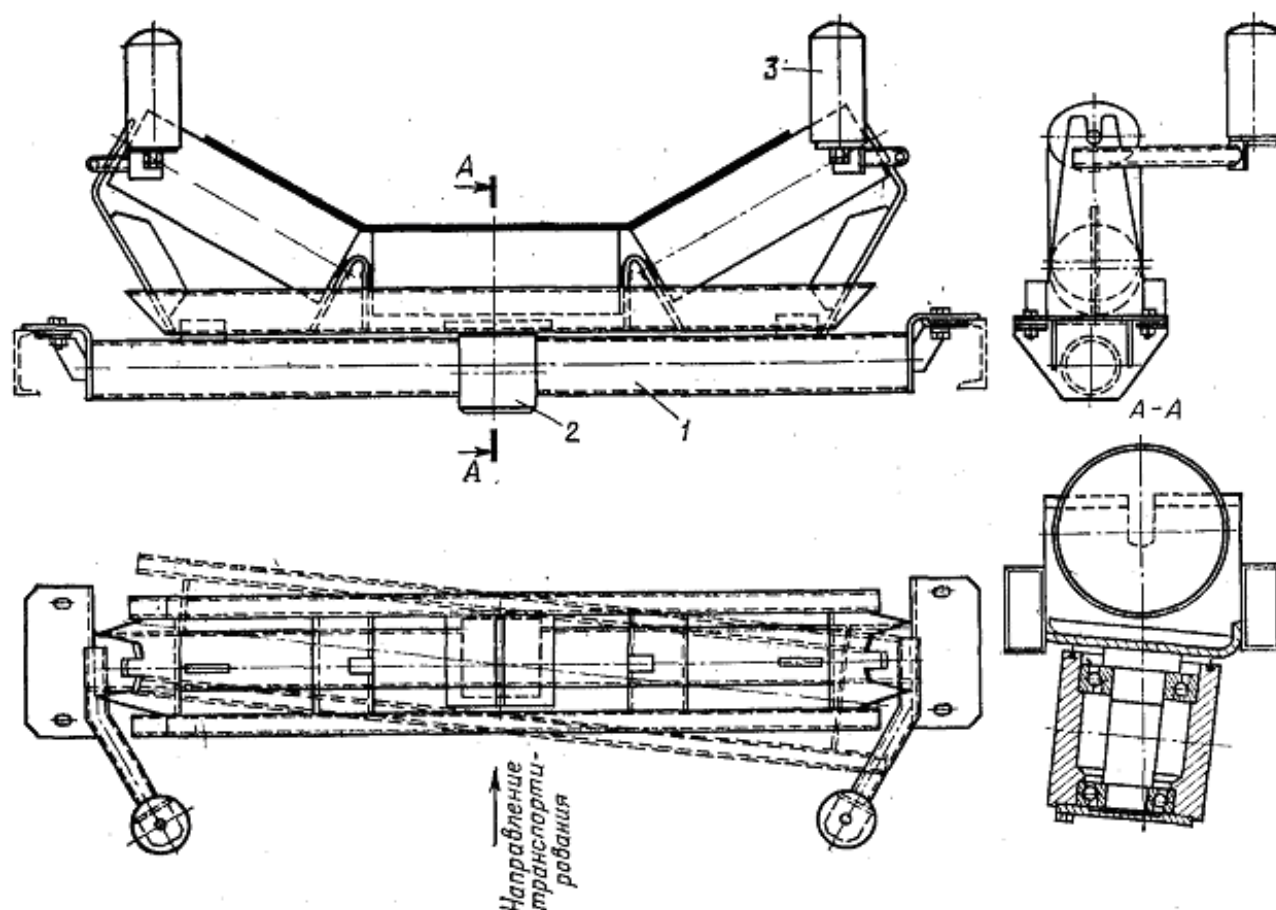


Рисунок 63 - Центрирующая роликоопора

Для предупреждения чрезмерного смещения ленты в сторону в ряде случаев применяют специальное электроблокировочное устройство, обеспечивающее автоматическое выключение электродвигателя привода при смещении ленты от продольной оси сверх допускаемого предела. В этом случае лента при сходе с опор нажимает кромкой на ролик, соединенный тягой с выключателем.

Для увеличения центрирующей способности роlikоопоры могут устанавливаться группой из 2 - 3 шт. и иметь принудительную систему управления со следящей системой.

9.2.1.3 Приводы

Назначение привода — обеспечить движение тягового элемента конвейера с грузом. Создание необходимой тяговой силы конвейера обеспечивается силой трения, возникающей между лентой и поверхностью приводного барабана.

Привод (рисунок 64) состоит из двигателя 1, редуктора 3, барабана 5, а также муфт 2 и 4, соединяющих двигатель с редуктором в редуктор с валом барабана.

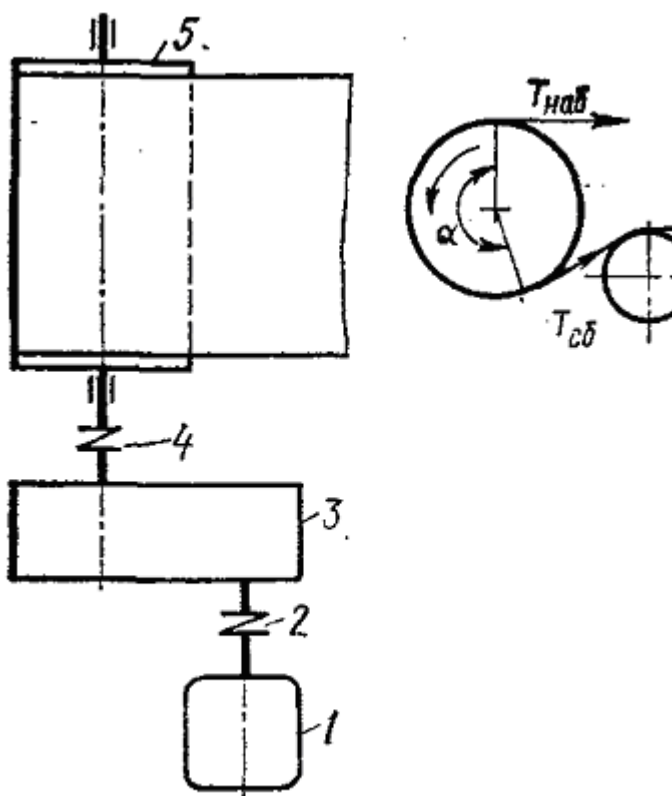


Рисунок 64 - Схема привода конвейера

Ленточные конвейеры могут иметь следующие- виды приводов: единичный головной однобарабанный (рисунок 65, а) или двухбарабанный (рисунок 65,б), раздельный (на головном и хвостовом барабанах (рисунок 65, в) и комбинированный—двухбарабанный в головной части и однобарабанный в хвостовой части (рисунок 65, г). На длинных и тяжелонагруженных конвейерах для преодоления местных и линейно распределенных сопротивлений необходимо очень большое натяжение 5 ленты (рисунок 65,д), что ведет к увеличению мощности привода и

массы движущихся элементов конвейера и требует дальнейшего увеличения натяжения. Поэтому одноприводный конвейер становится неэкономичным и конвейер делают многоприводным, состоящим из установленных вдоль трассы конвейера нескольких приводов ($\Pi_1—\Pi_4$), работающих согласованно друг с другом на один тяговый элемент. Вся трасса многоприводного конвейера распределяется на участки с отдельными приводами и каждый привод воспринимает нагрузку только своего участка конвейера. При этом существенно уменьшается максимальное натяжение ($S_1—S_4$) ленты, уменьшается масса ходовой части и опорных конструкций конвейера, снижается расход электроэнергии.

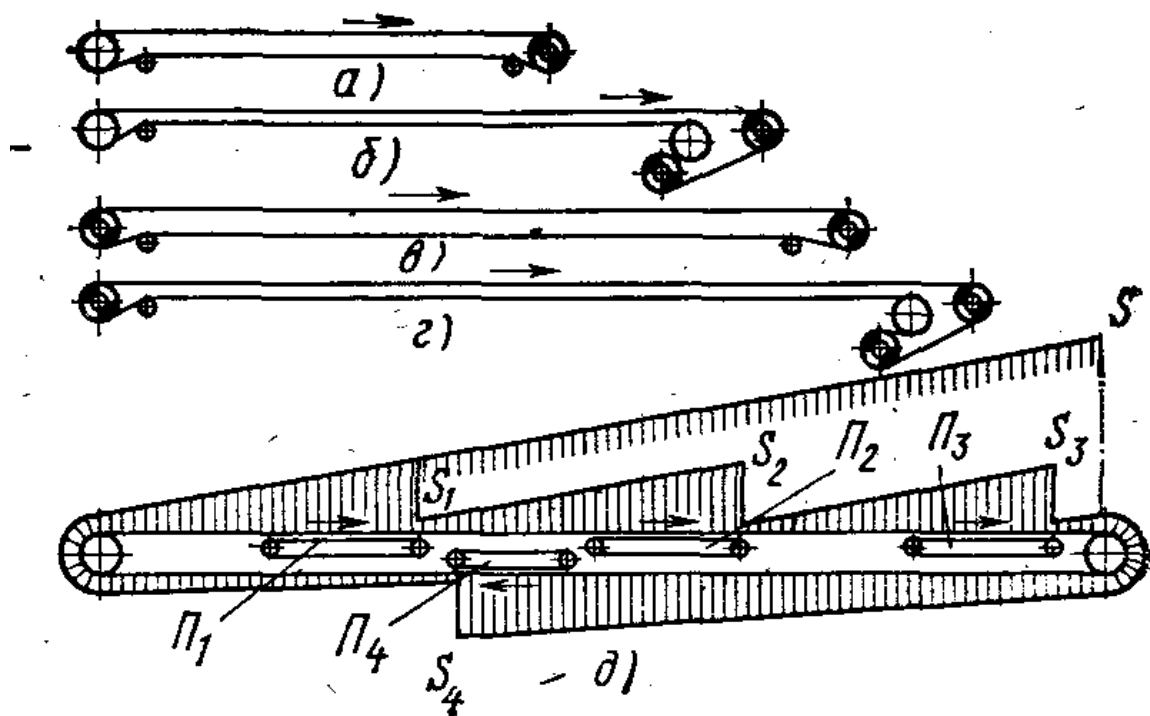


Рисунок 65 - Ленточные конвейеры с различными типами приводов

Согласно уравнению Эйлера, определяющему зависимость между натяжениями набегающей $T_{наб}$ и сбегающей $T_{сб}$ ветвей ленты конвейера при отсутствии скольжения ленты по барабану, получаем

$$T_{наб} \leq T_{сб} e^{f \cdot \alpha}$$

где $e^{f \cdot \alpha}$ - коэффициент тяги, характеризующий тяговую способность приводного барабана;

α - угол обхвата барабана лентой, рад;

f - коэффициент трения между лентой и барабаном.

Наибольшая окружная сила, которая может быть передана при заданных значениях $T_{наб}$ и $T_{сб}$, равна

$$F_{max} = T_{наб} - T_{сб} = T_{сб} (e^{f \cdot \alpha} - 1) = T_{наб} (e^{f \cdot \alpha} - 1) / e^{f \cdot \alpha}$$

Для обеспечения нормальной работы привода фактическая передаваемая барабаном сила F должна быть меньше значения F_{max} .

Значения коэффициента трения f конвейерной ленты с барабаном зависят от типа ленты, материала поверхности барабана и от условий окружающей среды (таблица 12).

Как видно из последней формулы, тяговую силу можно увеличить двумя способами: повышая коэффициент трения или увеличивая угол обхвата. Обычно в конвейерах угол обхвата $\alpha > 180^\circ$, что достигается применением дополнительного отклоняющего барабана (см. рисунок 64). В двухбарабанных приводах (см. рисунок 65) угол обхвата может быть еще больше от 390° до 430° .

Однако эти приводы сложны по конструкции, и конвейерная лента подвергается перегибам в различных направлениях, что повышает износ ленты и ускоряет ее расслаивание. Поэтому применение двухбарабанного привода должно быть обосновано технико-экономическим расчетом.

Для повышения силы трения ленты с приводным барабаном применяют специальные прижимные ленты. В однобарабанном приводе (рисунок 66, а) конвейерная лента 1 огибает главный отклоняющий барабан 2 , отклоняющие барабаны $3, 5$ и приводной барабан 4 . Прижимная лента 7 , огибая отклоняющие барабаны 6 и 9 , прижимает конвейерную ленту 1 к поверхности приводного барабана 4 . Натяжение прижимной ленты создается весом груза 8 .

Таблица 12 - Расчетные значения коэффициента трения f между лентой с резиновой обкладкой и приводным барабаном

Поверхность приводного барабана	Состояние соприкасающихся поверхностей	Расчетное значение коэффициента
Стальная или чугунная без футеровки	Чистые	0,35
	Пыльные	0,3
	Загрязнение: углем или песком	0,2
		глиной
Футерованная резиной	Чистые	0,5
	Пыльные	0,4
	Загрязнение: углем или песком	0,25
		глиной
Футерованные прорезиненной лентой без обкладки (трение по тканевой прокладке)	Чистые	0,45
	Пыльные	0,35
	Загрязнение: углем или песком	0,25
		глиной
Примечание - Для лент с обкладками из поливинилхлорида значение коэффициента трения $f_{пхв}=0,2$ - ПРИ обычных барабанах и $f_{пхв}=0,28$ — при футерованных.		

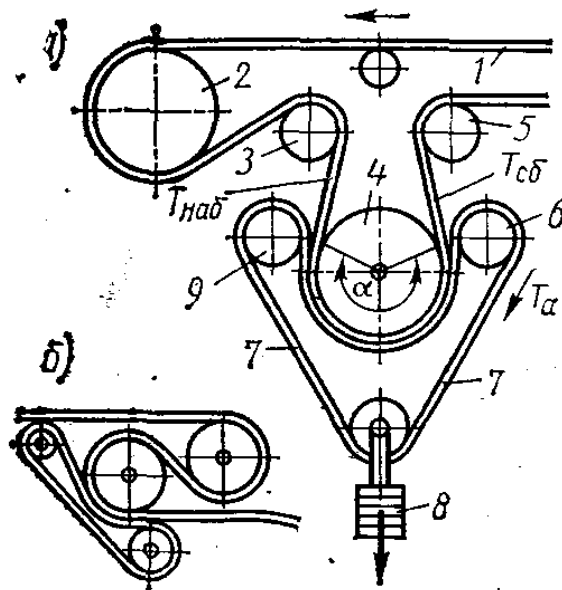


Рисунок 66 - Применение прижимной ленты для однобарабанного (а) и для двухбарабанного (б) приводов

Если углы обхвата приводного барабана конвейерной и прижимной лентой одинаковы и равны α , а T_a —натяжение прижимной ленты, принимаемое во всех точках одинаковым, то суммарное натяжение конвейерной и прижимной лент в набегающей ветви равно $T_{наб} + T_a$, а в сбегающей ветви — $T_{сб} + T_a$, и тогда по уравнению Эйлера

$$T_{наб} + T_a \leq (T_{сб} + T_a)e^{f \cdot \alpha},$$

откуда передаваемая барабаном окружная сила

$$F \leq T_{сб} (e^{f \cdot \alpha} - 1) + T_a (e^{f \cdot \alpha} - 1) = (T_{сб} + T_a)(e^{f \cdot \alpha} - 1),$$

т.е. она больше на величину $T_a(e^{f \cdot \alpha} - 1)$, чем в случае, когда прижима нет.

Недостатком этого типа привода является то, что прижимная лента контактирует с рабочей стороной грузонесущей ленты, что увеличивает износ обеих лент.

Увеличение силы трения ленты с приводным барабаном достигают также применением вакуум-барабанов, из полости которых отсасывают воздух, или применением барабанов с футеровкой, обладающей свойством присасывания ленты, а при металлической конвейерной ленте — за счет применения приводных электромагнитных барабанов.

Место расположения привода определяется конструктивными и эксплуатационными условиями, например удобством сооружения фундамента и помещения для привода, удобством обслуживания, и управления и т. п. Но все же решающим фактором является стремление уменьшить наибольшее натяжение тягового элемента и тем самым уменьшить мощность привода и его габариты. В связи с этим рекомендуется устанавливать привод по ходу гибкого элемента после участка с

наибольшим сопротивлением — обычно или в верхней точке участка подъема груза, или около места разгрузки. В ряде случаев следует произвести расчет окружной силы P или натяжения T_{\max} для нескольких вариантов расположения привода и соответственно выбрать рациональное место установки привода.

9.2.1.4 Натяжные устройства

Эти устройства предназначены для создания необходимого натяжения ленты, обеспечивающего сцепление ее с приводным барабаном без проскальзывания, а также для ограничения провисания ленты между опорами и компенсации вытяжки ленты в процессе эксплуатации. Натяжные устройства подразделяются на устройства, создающие *нерегулируемое натяжение* в ленте, и устройства, *регулирующие натяжение* ленты в зависимости от значения крутящего момента на приводном барабане.

К устройствам первой группы относятся механические натяжные устройства, в которых натяжение ленты создается перемещением натяжного барабана с помощью винтовых механизмов, и грузовые устройства, натягивающие ленту весом висящего груза.

Винтовое натяжное устройство (рисунок 67, а) состоит из натяжного барабана 1, установленного на ползунах 4, перемещающихся в рамках 2 с помощью натяжных винтов 3. Винтовое натяжное устройство не создает стабильного натяжения ленты. По мере вытягивания ленты ее натяжение уменьшается.

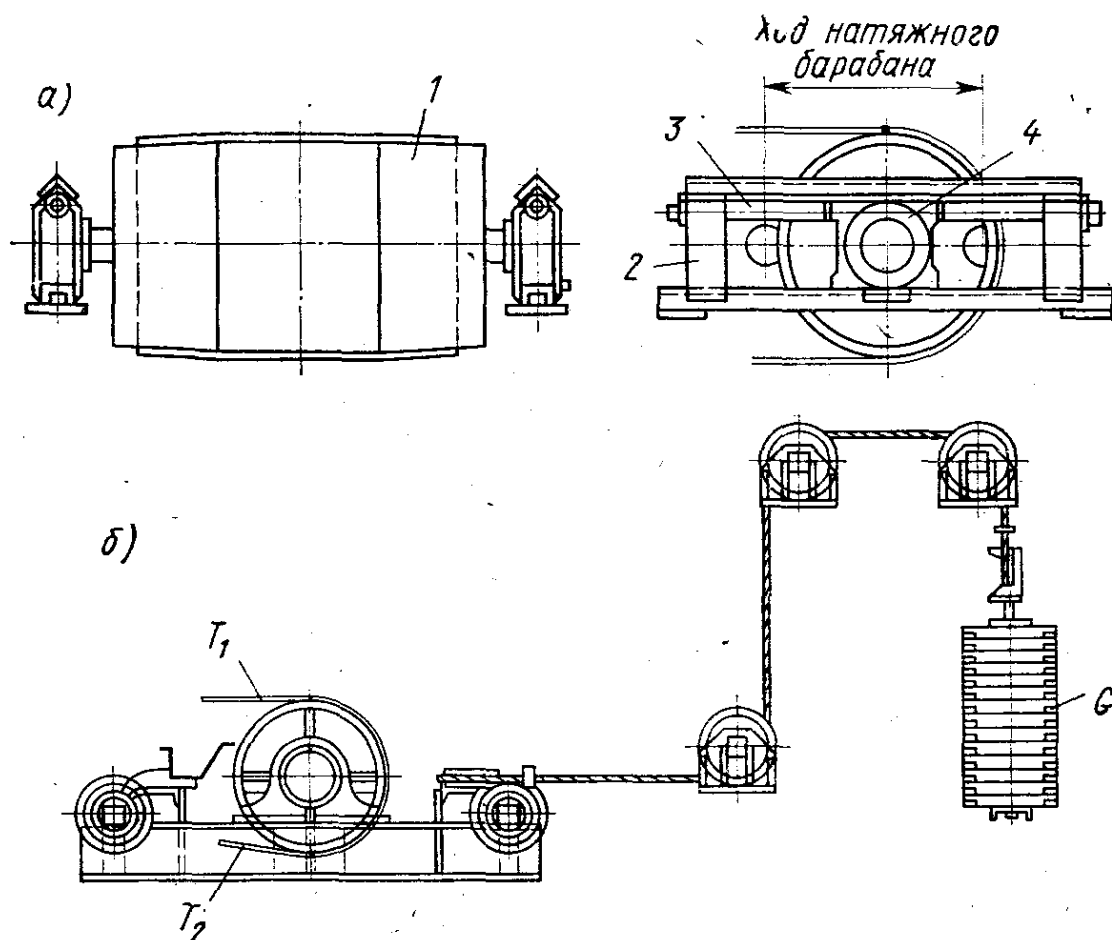


Рисунок 67 - Схемы винтового (а) и грузового (б) натяжных устройств

Первоначальная сила натяжения, создаваемая этим устройством, несколько больше, чем необходимо для пуска и движения конвейера, и лента постоянно перетянута. В связи с этим винтовые натяжные устройства применяются, как правило, в конвейерах небольшой длины (менее 60 м) и при небольших нагрузках. Преимуществом винтового натяжного устройства являются его малые габариты и масса. При расчете винтов учитывают возможную неравномерность распределения нагрузки между ними, поэтому винты рассчитывают на нагрузку, в 1,5—1,8 раза превышающую теоретическую.

Более совершенными являются грузовые натяжные устройства, позволяющие автоматически поддерживать заданную силу натяжения ленты при ее вытягивании. Натяжной барабан устройства (рисунок 67, б) укрепляют, так же как барабан винтового устройства, в корпусах, передвигающихся по направляющим, или на специальной тележке. Эта тележка соединяется канатом или цепью с грузом G , создающим неизменные значения натяжения T_1 и T_2 ветвей ленты. В некоторых случаях натяжное устройство устанавливают рядом с приводным барабаном, помещая на ленте натяжной барабан и натяжной груз. Конструкция такого натяжного устройства значительно проще.

Ход тележек, так же как и ход опускающегося натяжного груза, ограничивают установкой конечных выключателей. Из-за больших размеров и массы грузовые натяжные устройства целесообразно применять лишь для стационарных конвейеров.

В конвейерах большой длины лента вытягивается на большую длину и для ее натяжения применяют грузолебедочное натяжное устройство (рисунок 68), в котором канат 3, огибая блоки 4, установленные на грузовой траверсе, крепится одним концом к натяжному грузу 1, а другим — к барабану лебедки 2.

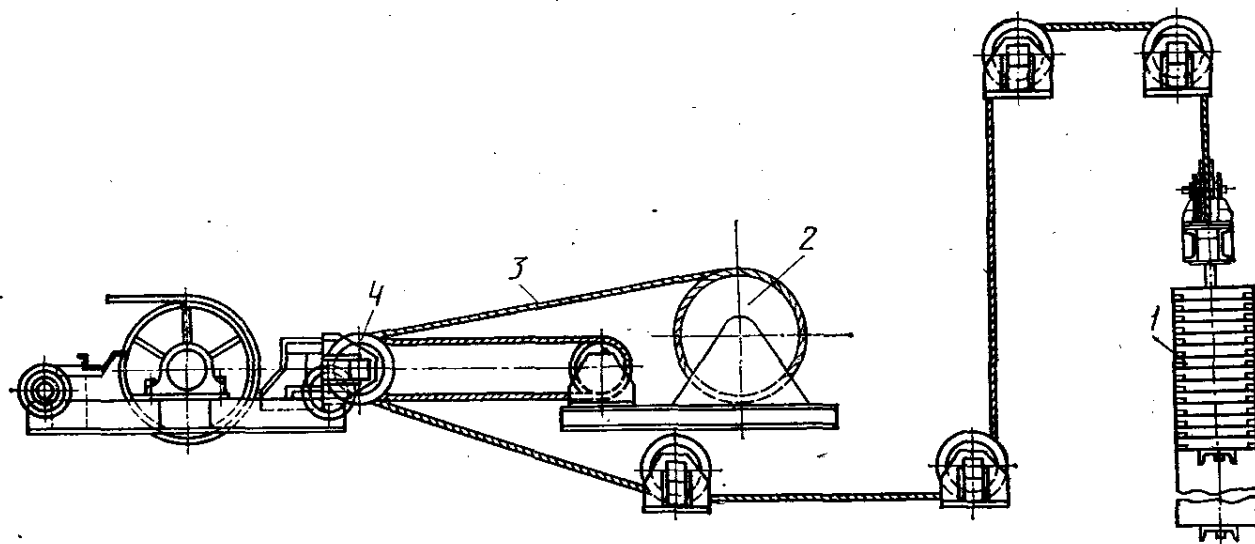


Рисунок 68 - Грузолебедочное натяжное устройство

При вытягивании ленты грузы постепенно опускаются до крайнего нижнего положения, после чего автоматически включается лебедка 2, поднимая грузы 1 вновь на заданную высоту. В этой конструкции может быть обеспечен большой ход натяжного барабана при относительно небольшом ходе груза, а используя по-

лиспасты, можно получить значительную силу натяжения.

Общим недостатком грузовых и грузолебедочных устройств является то, что они создают постоянное натяжение, определяемое условиями пуска конвейера, в связи с чем лента испытывает постоянное натяжение, превышающее необходимое для работы конвейера.

Ко второй группе устройств, автоматически регулирующих натяжение ленты в зависимости от потребного крутящего момента, относится лебедочное натяжное устройство, применяемое для конвейеров большой производительности и длины (рисунок 69). Оно состоит из натяжной тележки 6, сдвоенного многократного полиспаста 4, неподвижных блоков 3 и натяжной электрической лебедки 5. Один из блоков полиспаста установлен на двуплечем рычаге 2, второе плечо которого шарнирно связано с поршнем гидроцилиндра 1, выполняющего роль регулятора натяжения (в других конструкциях вместо гидроцилиндра используется пружина). Цилиндр снабжен контактными манометрами. Натяжение канатов полиспаста зависит от задаваемого контактами манометров давления в гидроцилиндре; замыкание и размыкание контактов манометров используются для автоматического включения и выключения двигателя натяжной лебедки. Во время пуска конвейера для преодоления сил инерции разгоняемых масс ленты и груза необходимо более высокое сцепление ленты с приводным барабаном, чем при равномерном движении.

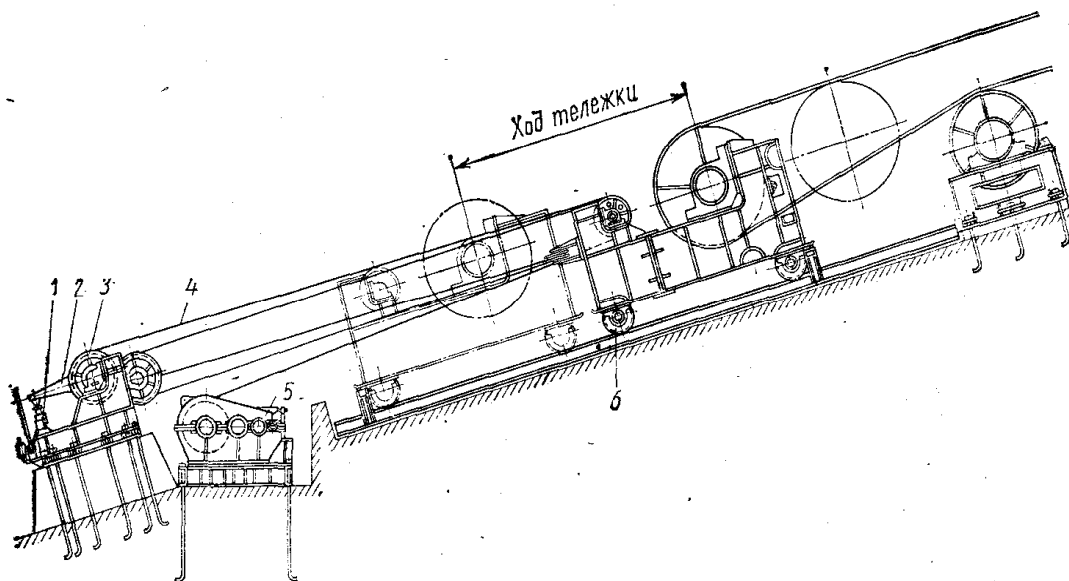


Рисунок 69 - Натяжное устройство с автоматической регулировкой натяжения ленты

Дополнительную силу сцепления создают, увеличивая натяжение ленты с помощью натяжной лебедки еще до включения приводного двигателя. После того как достигнуто необходимое натяжение ленты, замыкаются контакты манометра и включается приводной двигатель. Увеличенное натяжение в ленте сохраняется до тех пор, пока не установится номинальная скорость. После этого срабатывает реле скорости, кинематически связанное с барабаном натяжной лебедки, автоматически включается ее двигатель, канат стравливается, и натяжение ленты уменьшается до установленной величины. Стабилизация натяжения ленты при устано-

вившемся режиме работы конвейера обеспечивается следующим образом: при падении или превышении натяжения сверх установленной нормы давление в гидроцилиндре изменяется и в результате замыкания соответствующего контакта манометра двигатель натяжной лебедки включается в требуемом направлении. При восстановлении номинального значения натяжения двигатель лебедки отключается. Применение подобных натяжных устройств предотвращает пробуксовку приводного барабана при пуске и не требует создания в ленте излишне высокого натяжения при установившемся режиме работы конвейера, что способствует увеличению срока службы ленты.

Натяжное устройство располагают либо там, где лента имеет минимальное натяжение (чтобы сила, создаваемая натяжным устройством, была также минимальной), либо там, где его удобнее обслуживать. Сила, создаваемая натяжным устройством, должна быть больше геометрической суммы натяжений концов ленты на натяжном барабане при пуске конвейера на значение силы, необходимой для передвижения опор барабана в направляющих или натяжной тележки по рельсам. При этом должен быть введен запас натяжения, равный 1,2 - 1,5.

Ход натяжного устройства выбирают в зависимости от длины и вида трассы конвейера так, чтобы была обеспечена компенсация удлинения ленты от нагрузки, от изменения температуры и от ее износа. При этом надо обеспечивать возможность проведения необходимых монтажных и ремонтных работ. Рабочий ход натяжного устройства конвейера (в метрах) с учетом конструкции конвейера и типа ленты определяется по зависимости

$$I_n = K_n \cdot K_{ис} \cdot \epsilon \cdot L,$$

где K_n — коэффициент, зависящий от угла наклона конвейера

$K_n = 0,85$ - при угле наклона конвейеров $\leq 10^\circ$ и

$K_n = 0,65$ - при угле наклона $> 10^\circ$;

$K_{ис} \leq 1$ - коэффициент использования ленты по натяжению, равный отношению фактического максимального расчетного натяжения $T_{наб}$ к допускаемому натяжению T ;

ϵ - относительное упругое удлинение принятого типа ленты: для резинотканевой ленты $\epsilon = 0,015$, а для резинотросовой — $\epsilon = 0,0025$;

L - длина конвейера, равная расстоянию между центрами концевых барабанов.

Для резинотросовых лент рабочий ход натяжного устройства должен быть не менее 500 мм для любых случаев их использования.

9.2.1.5 Остановы и тормоза

В приводах наклонных ленточных конвейеров применяют остановки и тормоза, исключающие самопроизвольное обратное движение ленты под действием веса лежащего на ней груза после выключения приводного двигателя. Тормоза нужны и для горизонтальных ленточных конвейеров, чтобы уменьшить длину выбега после выключения приводного двигателя и предотвратить завал грузом следующего конвейера или технологического агрегата.

9.2.1.6 Устройства очистки ленты

При работе конвейера на рабочую поверхность ленты налипают частицы транспортируемого груза. Эти частицы врезают в обкладку ленты, когда она огибает барабаны или перемещается по опорам холостой ветви своей рабочей стороной, и вызывают ее повышенный износ, а также уменьшают силу сцепления ленты с приводным барабаном. Количество налипающего на ленту груза зависит от влажности груза, размера его частиц, их структуры и т. п. Исследованиями установлено, что к ленте прилипает от 3 до 5 % массы нелипкого груза и от 15 до 20 % массы липкого груза. Для повышения срока службы ленты и создания нормальных условий эксплуатации конвейера необходимо обеспечить очистку рабочей поверхности ленты с помощью специальных механических очистителей, стряхивающих устройств и промывочных средств. Наиболее широко распространены *механические очистители* в виде различного рода скребков и щеток. При применении скребков отделение налипшего груза от ленты производится кромкой пластины из резины, пластмассы или стали, прижимаемой к ленте пружиной (рисунок 70, а), весом специального груза (рисунок 70, б) или напором насоса (рисунок 70, в). Сила прижатия скребка к ленте по его длине обычно составляет от 1 до 2 Н/см. Дальнейшее ее увеличение лишь повышает износ ленты, не улучшая качества очистки. Коэффициент трения скребка по ленте составляет от 0,6 до 0,75.

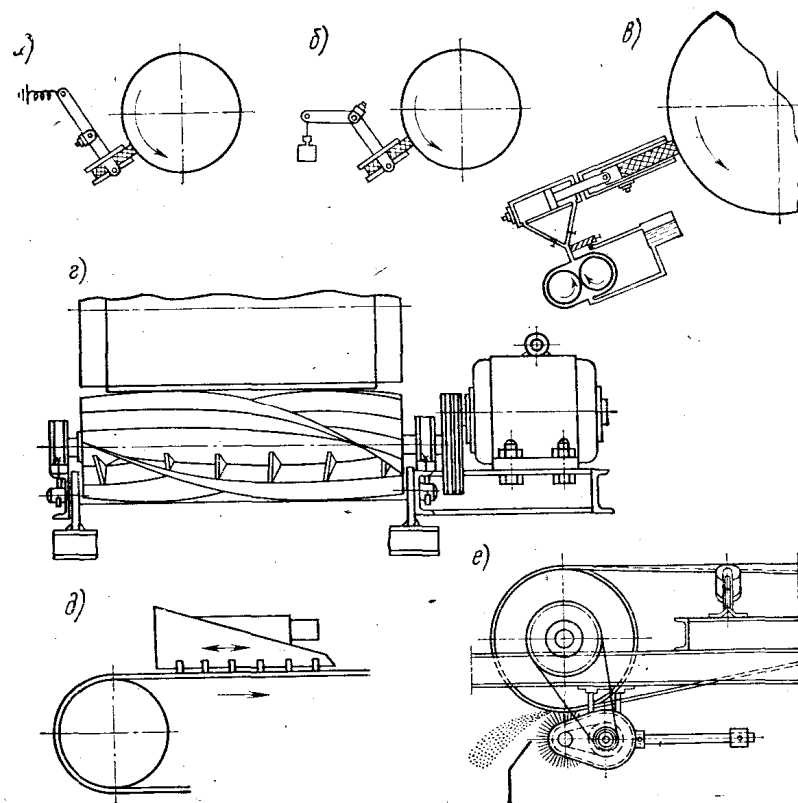


Рисунок 70 - Схемы механических устройств для очистки ленты

Для скребков не применяют куски использованных конвейерных лент, так как абразивные частицы, содержащиеся в счищаемом грузе, удерживаются волокнами скребка и способствуют износу ленты. Хороших результатов очистки можно достичь, используя скребки с винтовыми лопастями (рисунок 70, г), приводимые во вращение от отдельного двигателя или от приводного барабана. Виб-

рациональные скребки (рисунок 70, *д*) также значительно повышают качество очистки, и, кроме того, их применение резко уменьшает износ скребка. Амплитуда колебаний скребка составляет от 1,5 до 3 мм.

Для очистки ленты от частиц сухого груза применяют также вращающиеся щетки (рисунок 70, *е*), однако при транспортировании липких грузов щетки быстро забиваются и становятся неэффективными.

При влажности груза менее 5 % счищаемые с ленты частицы материала под действием центробежных сил слетают со щеток и способствуют загрязнению помещений. Направление вращения щеток должно быть противоположно движению ленты, а скорость на наружном диаметре должна быть в 2 - 3 раза больше скорости движения ленты. Удельная сила прижатия щеток к ленте составляет от 4 до 8 Н/см, а их длина от 85 до 100 % ширины ленты, что обеспечивает относительно небольшой и равномерный износ капроновых волокон

При применении механических очистных устройств необходимо обращать особое внимание на конструкцию соединения концов ленты, так как резкие переходы по толщине и наличие выступов оказывает сильное влияние на долговечность очистных устройств. Механические очистные устройства устанавливаются на нижней (обратной) ветви конвейера так, чтобы на отклоняющий барабан или ролик лента ложилась очищенной поверхностью. Исследования показали, что для качественной очистки ленты целесообразно устанавливать совместно очистные щетки и скребки.

9.2.1.7 Загрузка конвейеров

Загрузочное устройство должно обеспечить плавную подачу груза на движущуюся ленту, при этом для предупреждения повреждения и изнашивания ленты скорость подачи груза и направление его движения должны быть близки к скорости и направлению движения загружаемой ленты. Конвейер можно загрузить в любой точке его трассы. Однако обычно загрузку производят около хвостового барабана. Насыпные грузы обычно загружают с помощью воронки и лотка, устанавливаемого под воронкой (рисунок 71).

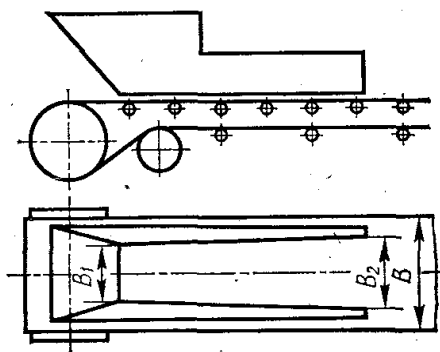


Рисунок 71 - Лоток для сыпучих грузов

Ширина лотка в начальной части $B_1=0,5B$ и в конечной части $B_2= (0,6—0,7)B$, где B —ширина конвейерной ленты. После выхода из лотка груз рассыпается по ленте и занимает ширину, примерно равную $0,8B$.

При транспортировке грузов (кроме угля) с кусками размером свыше 80 мм за-

грузочные пункты необходимо оборудовать амортизационными устройствами.

9.2.1.8 Разгрузка конвейеров

Наиболее простым и удобным способом разгрузки конвейеров, не требующим специальных устройств, является сброс груза с концевого барабана (рисунок 72, а). Однако в ряде случаев возникает необходимость осуществлять разгрузку в различных точках по длине конвейера. Например, в литейном производстве одним конвейером подают формовочную землю к бункерам нескольких формовочных машин, расположенным вдоль линии конвейера. В этом случае применяют специальные разгрузочные устройства, наиболее простыми из которых являются *плужковые разгрузатели*, т. е. щиты, устанавливаемые на ленте под углом к потоку груза (рисунок 72, б). При этом груз, двигаясь вдоль щита, сбрасывается с ленты на одну или на обе стороны (рисунок 72, в). Недостатком плужковых разгрузателей является повышенный износ ленты, поэтому их целесообразно применять при больших скоростях движения ленты (свыше 1,6 - 2,0 м/с) и при транспортировании абразивных и крупнокусковых грузов.

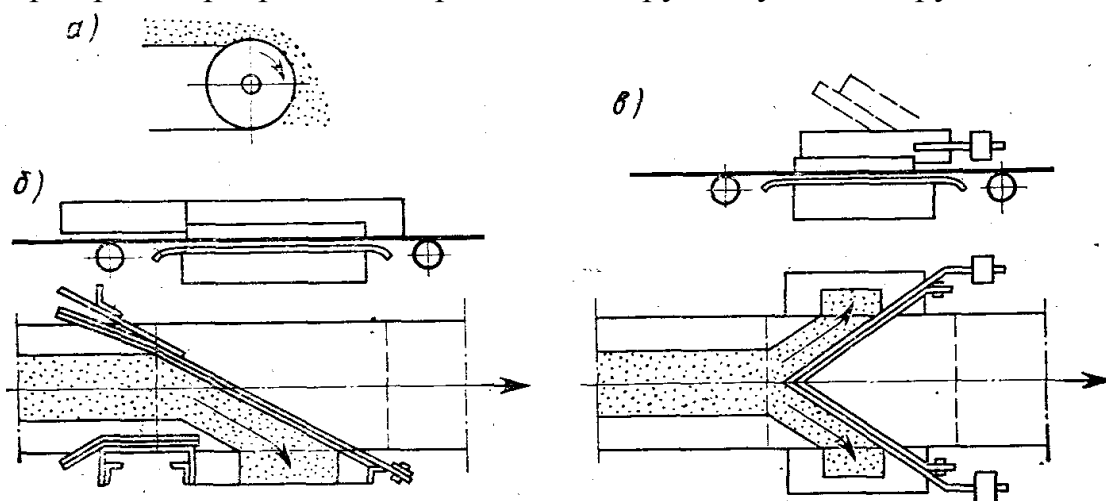


Рисунок 72 - Разгрузка ленточного конвейера

Наиболее рационально осуществлять разгрузку ленточного конвейера с помощью *барабанной разгрузочной тележки*, обеспечивающей разгрузку как в фиксированном положении при неподвижной тележке, так и в «челноковом» режиме, когда разгрузка осуществляется при реверсном движении тележки. Барабанная разгрузочная тележка (рисунок 73) состоит из рамы 3 с установленными на ней верхним 8 и нижним 6 барабанами, огибаемыми лентой конвейера, роликоопор 9, механизмов передвижения 4 с ходовыми колесами 2, разгрузочной воронки 1 и защитного колпака 7. Разгрузочная воронка может быть одорукавной, обеспечивающей разгрузку на одну сторону конвейера, двухрукавной—для разгрузки на обе стороны или трехрукавной, применяемой при необходимости не только разгружать груз на обе стороны конвейера, но и пропускать его через тележку для разгрузки через головной барабан. Груз поднимается по ленте до верхнего барабана тележки и падает в разгрузочную воронку, отводящую груз в сторону. Для предотвращения угона тележки движущейся лентой конвейера она снабжается автоматически действующим противоугонным рельсовым захватом 5 клещевого типа.

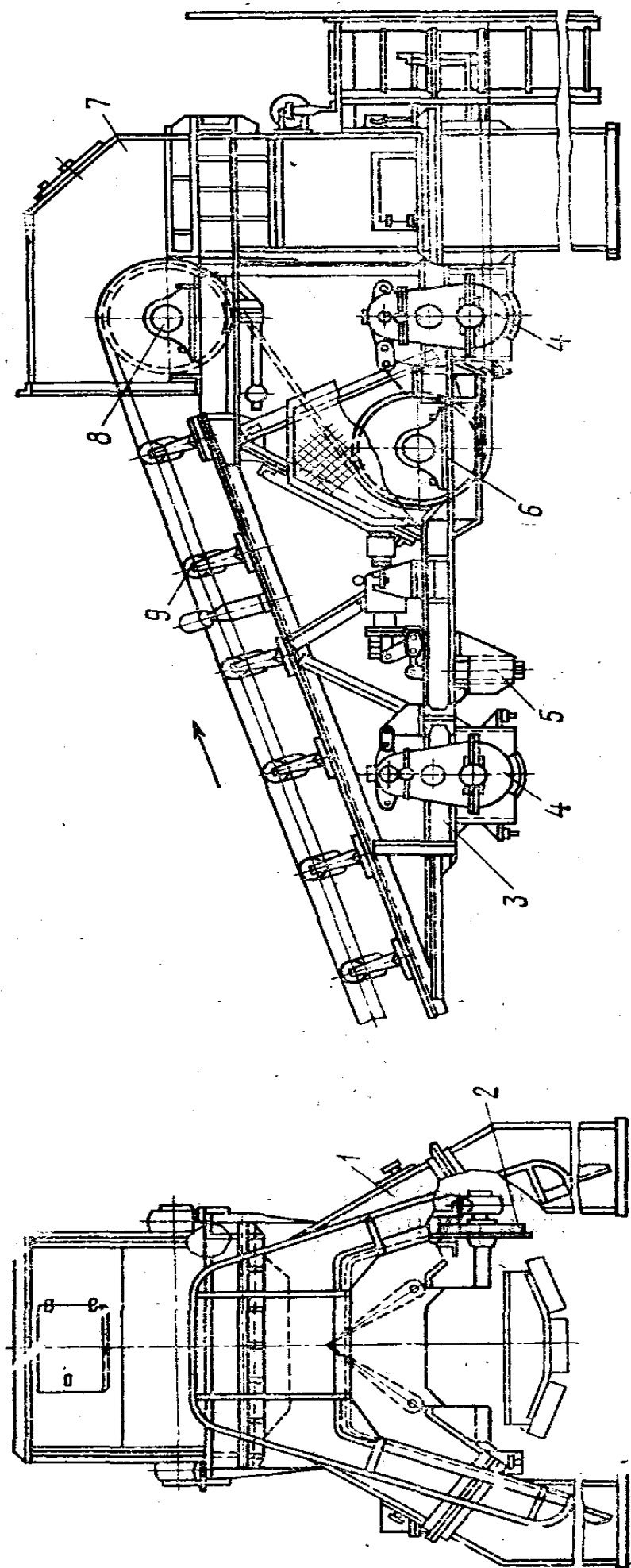


Рисунок 73 - Барабанная разгрузочная тележка с двухрукавной воронкой

9.2.2 Конвейеры с бесконтактными опорами

Увеличение скорости движения ленты с целью повышения производительности конвейера приводит к большому износу ленты, снижению срока ее службы, требует проведения динамической балансировки роликов и барабанов, усложняет процесс загрузки конвейеров. Все это ограничивает использование ленточных конвейеров на роlikоопорах при высоких скоростях движения ленты. В этом случае перспективным является применение конвейеров с бесконтактной опорой ленты. В этих конвейерах (рисунок 74) лента вместе с грузом поднимается давлением воздуха над опорной поверхностью. Через воздухопровод 1 воздух нагнетается в воздушную камеру 2 и вытекает в щель между лентой и стенкой камеры. Между движущейся лентой и неподвижной опорной поверхностью создается воздушная прослойка. Как показали испытания, увеличение скорости ленты, поддерживаемой воздушной прослойкой, не вызывает пыления транспортируемого груза благодаря плавности движения ленты.

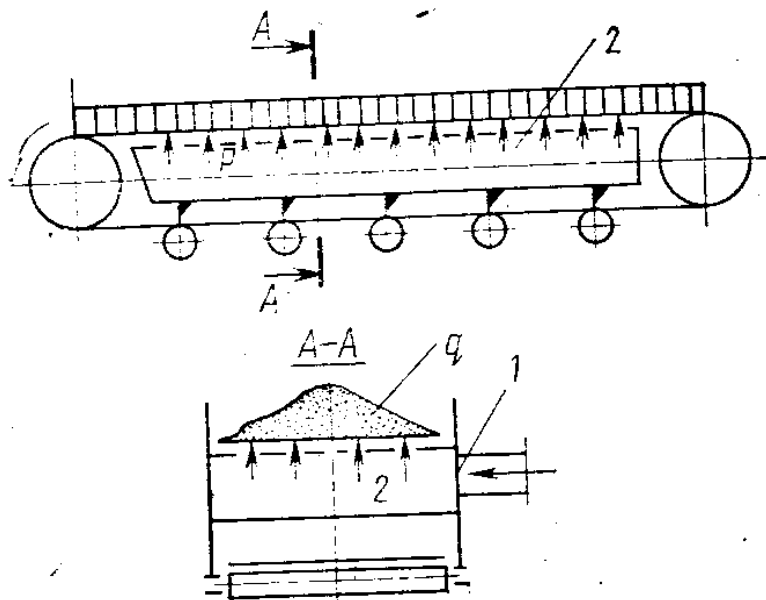


Рисунок 74 - Схема ленточного конвейера с воздушной прослойкой

Нагнетание воздуха для образования воздушной прослойки ведут по одной из трех схем (рисунок 75). При сопловой схеме или струйной завесе (рисунок 75, а) воздух подается под ленту с двух сторон из камеры 1 через щелевые сопла 2, размещенные по длине ленты 3 вблизи ее кромки. При этом в пространстве, ограниченном струями воздуха, создается область повышенного давления. При камерной схеме (рисунок 75, б) внутри воздушной камеры 1, расположенной под лентой, поддерживается избыточное давление, которое обеспечивает движение воздуха в зазоре между лентой и стенками камеры. При схеме воздушной смазки (рисунок 75, в) подача воздуха под ленту производится через множество точек перфорированного днища или через центральную щель. Давление создается за счет вязкого трения в узком зазоре между лентой 3 и направляющим желобом 4.

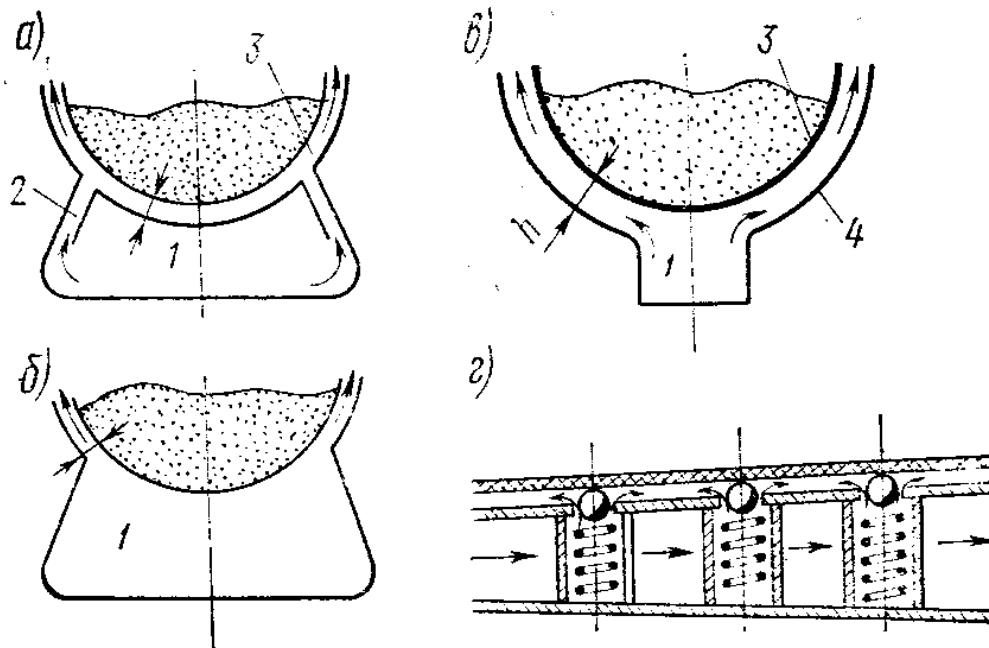


Рисунок 75 – Схемы создания избыточного давления под лентой конвейера

Для уменьшения расхода воздуха в конвейере с воздушной смазкой используются различные клапаны — регуляторы расхода, например шариковые клапаны (рисунок 75, г), обеспечивающие подачу воздуха под ленту при нажатии ленты на шарики клапанов.

Наиболее широко распространена камерная схема, что объясняется относительной простотой конструкции и определения давления и расхода воздуха.

Обычно избыточное давление воздуха не превышает $2 \cdot 10^3$ Па. Опыт показывает, что при толщине воздушного зазора менее 0,4 мм расчет следует вести с учетом вязкости воздуха; при большей толщине влиянием вязкости можно пренебречь. Удельная мощность, затрачиваемая на создание воздушной прослойки по камерной схеме, по длине ленты составляет от 0,3 до 0,8 кВт/м и зависит от ширины ленты, массы груза, стабильности грузопотока, качества изготовления конвейера и КПД вентиляторных установок.

Конвейер, у которого обе ветви ленты поддерживаются на воздушной прослойке (рисунок 76), состоит из приводного 10 и натяжного 8 барабанов, охватываемых бесконечной лентой 16, перемещающейся внутри закрытого кожуха 9 по воздушной прослойке, создаваемой вентиляторами 7 и 13. Грузовая ветвь ленты 16 помещена в цилиндрический направляющий желоб 12, герметически закрытый сверху крышками 14 и переходящий около приводного барабана в сбрасывающую головку 11. Днище желоба 12 в средней части выполнено в виде камеры 5 прямоугольного сечения, разделенной поперечными перегородками на отсеки, каждый из которых сообщается дросселирующими патрубками 4 с воздухопроводом 3 грузовой ветви. В верхней части желоба 12 под лентой имеются отверстия б, соединяющие через боковые каналы 2 верхнюю полость 15 конвейера с камерой 1 холостой ветви. Пространство под холостой ветвью соединено трубопроводами со всасывающими окнами вентиляторов 7 и 13.

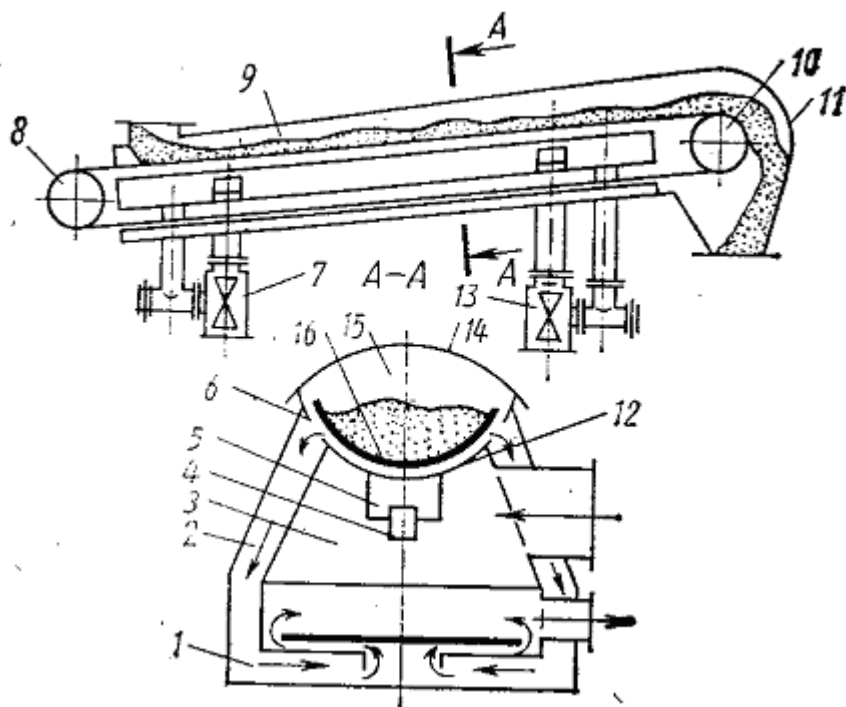


Рисунок 76 - Схема конвейера на воздушной подушке

В ответственных случаях ленточные конвейеры снабжают автоматически действующими предохранительными устройствами для автоматического останова наклонной грузовой ленты при выключении электродвигателя, для автоматического выключения электродвигателя при буксовании ленты на барабане в результате перегрузки или недостаточного натяжения, а также ловителями для автоматического улавливания ленты при ее обрыве.

9.2.3 Ленточные конвейеры с металлической лентой

Конвейеры со стальной лентой по своему устройству аналогичны конвейерам с резиноканевой лентой, но из-за специфических свойств ленты они имеют ряд отличий.

Стальная лента может быть цельнокатаной из углеродистой или нержавеющей стали или плетеной из проволоки. Как и резиноканевая лента, стальная лента является одновременно тяговым и несущим элементом.

Ленту из нержавеющей стали обычно применяют для транспортирования различных химических и пищевых продуктов. При неравномерном нагреве ленту из нержавеющей стали следует применять во избежание коробления при разнице температур не выше 50 °С. Ленты из углеродистой стали допускают нагрев до довольно высоких температур, и конвейеры со стальной лентой можно пропускать через печи и через сушильные камеры. Эти ленты могут работать в условиях неравномерного нагрева при температуре до 100 – 120 °С, а при равномерном нагреве, вместе с находящимся на ней грузом до 300 °С.

Цельнокатаные стальные ленты изготовляют толщиной от 0,6 до 11,2 мм и шириной от 350 до 1000 мм. При продольном соединении нескольких лент общая ширина ленты может достигать 4 м. Благодаря нагартовке стали при холодной

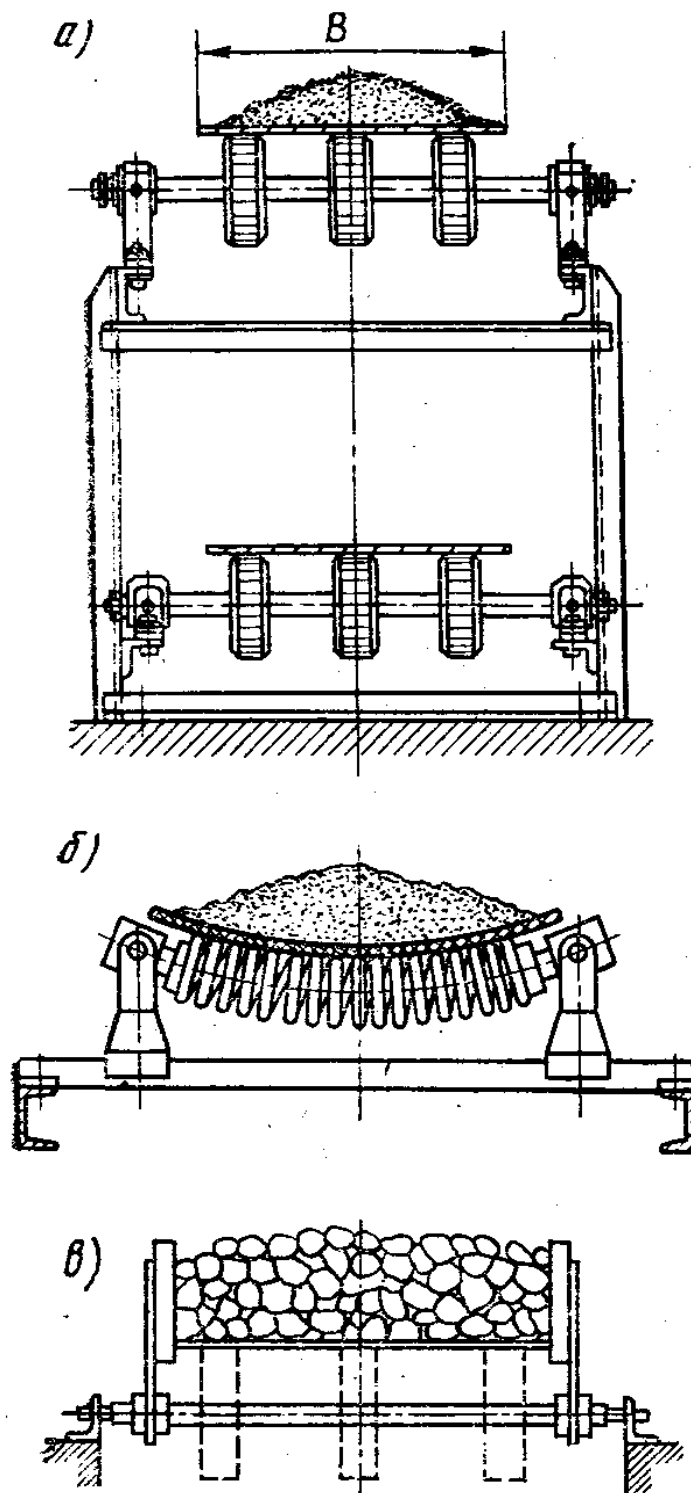
прокатке материал ленты обладает высокими механическими свойствами. Но при этом лента становится весьма чувствительной к ударам, забоинам, резким перегибам. Наиболее слабым местом стальной ленты является кромка. Повреждения кромки быстро распространяются внутрь, и лента выходит из строя. Поэтому конвейеры со стальной лентой требуют более точного изготовления и монтажа и тщательного наблюдения за их работой во время эксплуатации. Для предохранения кромок от повреждения должны быть предусмотрены специальные центрирующие и предохранительные устройства. Соединение концов стальной цельнокатаной ленты производят с помощью заклепок внахлестку, встык с подкладкой и с помощью шарнирных петель. Достоинствами шарнирного стыка являются возможность быстрой сборки и разборки соединения, а также более высокий срок службы при огибании барабанов малого диаметра. Недостатками его являются наличие щели, куда просыпается мелкий груз, и повышенный износ деталей шарнира. Поэтому в настоящее время наибольшее распространение имеет однорядное клепаное соединение внахлестку.

Роликоопоры для стальной цельнокатаной ленты обычно выполняют составными из нескольких узких роликов диаметром около 200 мм (рисунок 77, а), деревянных или металлических брусьев или в виде пружинных роликоопор (рисунок 77, б), позволяющих ленте плавно прогибаться под действием веса перемещаемого груза и образовывать желобчатое сечение. Это в 1,5 - 2 раза повышает производительность конвейера. При плоской ленте конвейеры снабжают стационарными бортами (рисунок 77, в), что позволяет увеличить площадь сечения груза, расположенного на ленте, и производительность конвейера. Роликоопоры размещают в зависимости от вида груза с шагом на рабочей ветви ленты от 0,5 до 2,5 м и на холостой ветви с шагом от 3 до 5 м.

В конвейерах со стальной лентой оба концевых барабана (приводной и натяжной) выполняют цилиндрической формы с коническими участками на краях (рисунок 78), причем для предупреждения повреждения кромок ленты длина $b=0,8B$, где B —ширина ленты независимо от длины конвейера, типа ленты и формы профиля обода.

Практика применения конвейеров со стальной лентой рекомендует следующие соотношения размеров барабана: для углеродистых холоднокатаных закаленных лент $c=0,4B$; для холоднокатаных незакаленных — $c=0,45B$; для лент из нержавеющей стали $c=0,5B$. В коротких конвейерах, длина которых не превышает $20B$, применяют цилиндрические барабаны.

Винтовые натяжные устройства для конвейеров со стальной лентой не рекомендуются, так как из-за высокой жесткости стальной ленты могут быть созданы значительные перенапряжения и, кроме того, винтовая натяжка не компенсирует возможных температурных изменений длины ленты. Поэтому для таких конвейеров преимущественное распространение получили грузовые натяжные устройства вследствие автоматичности и высокой надежности их действия. Ход натяжного устройства от 250 до 500 мм.



а - без бортов; б - при желобчатой ленте; в - с неподвижными бортами

Рисунок 77 - Роликоопоры конвейера со стальной лентой

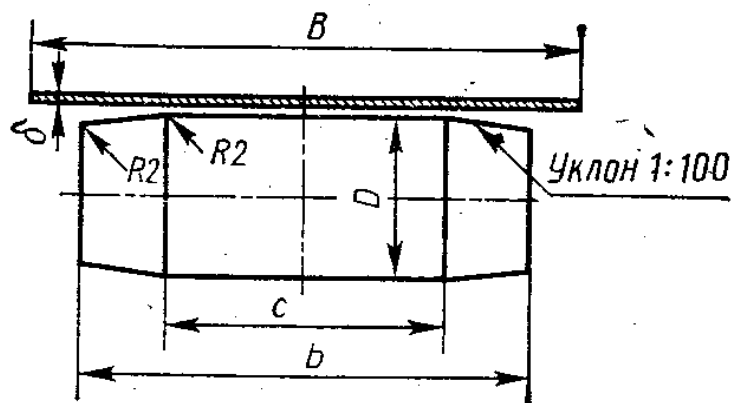


Рисунок 78 - Барабан для стальной цельнокатаной ленты

С целью повышения срока службы стальной ленты и уменьшения влияния изгиба ленты на прочность соединения ее концов принимают для конвейеров длиной до 30 м при любой скорости движения ленты диаметр барабана $D = 1200\delta$, где δ — толщина ленты; для более длинных конвейеров при скорости ленты, не превышающей 1 м/с, $D = 1000\delta$. В тесных помещениях (например, в угольных шахтах) при длине конвейера, превышающей 80 м, и при скорости ленты не более 1 м/с допускается принимать $D \leq 1000\delta$.

При скорости движения стальной цельнокатаной ленты более 1 м/с наблюдается появление вибрации ленты, что приводит к рассыпанию груза.

Увеличение диаметра барабана существенно влияет на долговечность ленты. Так, изменение отношения D/δ с 800 до 1000 увеличивает срок ее службы в 10 раз.

Коэффициент трения стальной катаной ленты по металлической поверхности барабана $f = 0,1$, а по ободу, футерованному резиной, $f = 0,27$.

Расчет стальной цельнокатаной ленты ведется на растяжение по формуле

$$\sigma_p = T/B \cdot \delta \leq [\sigma_p],$$

где T - максимальная растягивающая сила;

B - ширина ленты;

δ - ее толщина;

$[\sigma_p] = 25$ МПа — допустимое напряжение растяжения.

При более высоких напряжениях соединение концов ленты быстро разрушается. С другой стороны, напряжение в ленте не должно быть меньше 7 МПа, чтобы провисание ленты между опорами не было слишком значительным. Допустимая стрела провисания рабочей ветви принимается равной 25 мм, а порожней 20 мм.

Для транспортирования абразивных и кусковых грузов с острыми кромками, а также при транспортировании деталей через печи с целью термообработки или обжига применяют металлические ленты из проволоочной сетки. Ленты из

обычной углеродистой стальной проволоки допускают транспортировку горячих деталей и грузов при температуре до 350°C , а из жаропрочной проволоки — до 1000°C . Процесс транспортирования груза на проволочной ленте можно совместить с отсеиванием мелочи.

Такие ленты хорошо сопротивляются ударам, имеют высокую прочность и более высокую гибкость, чем стальная катаная лента, что позволяет применять их на конвейерах с барабанами такого же диаметра, как и для резинотканевой ленты. При серийном изготовлении стоимость проволочной ленты в 3—4 раза меньше стоимости резинотканевой ленты.

По способу изготовления проволочные ленты бывают *плетеные* и *шарнирно-звеньевые*. Так, на рисунке 79, а показана шарнирно-звеньевая лента, состоящая из отдельных спиральных элементов, изготовленных из проволоки круглого или прямоугольного сечения, соединенных между собой стержнями. На рисунке 79, б представлена лента с большим углом наклона проволок в спиралах. И здесь спирали соединены вставленными между ними волнообразно изогнутыми круглыми стержнями. Шарнирно-звеньевые ленты отличаются высокой прочностью, малым удлинением, равнопрочностью соединения в стыке и могут огибать барабаны малого диаметра. На этих лентах удобно закреплять поперечные планки, дающие возможность увеличивать угол наклона полотна конвейера до $50 - 60^{\circ}$ (рисунок 79, д). Ленты этого типа применяют для конвейеров со значительным натяжением ленты и для работы в условиях высоких температур.

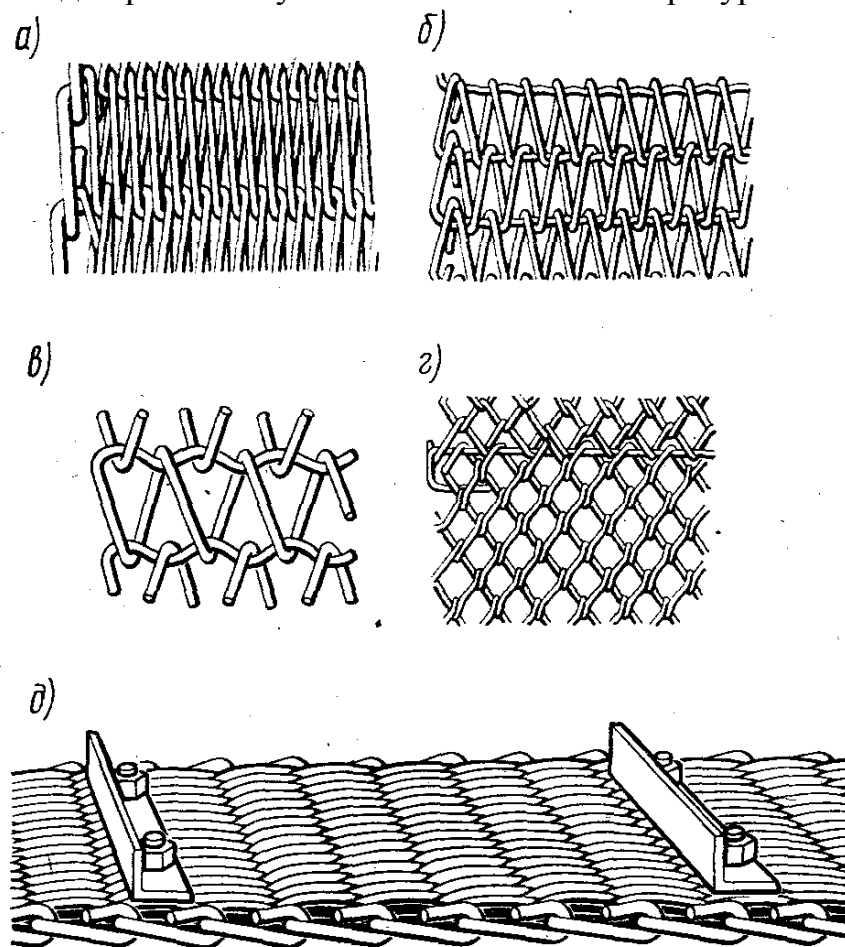


Рисунок 79 - Проволочные конвейерные ленты

Плетеные ленты (рисунок 79, в, з) отличаются простотой конструкции, они дешевы, имеют невысокую материалоемкость и трудоемкость изготовления. Однако они менее прочны, сильнее вытягиваются (до 35%), их труднее ремонтировать. Применяются они главным образом при небольших тяговых силах и при работе в условиях невысоких температур. Желобчатую форму придать проволочной ленте невозможно, так как она является гибкой только в продольном направлении и жесткой - в поперечном. Чтобы образовать форму желоба, к краям ленты прикрепляют пластины-борта.

Проволочная лента может быть изготовлена бесконечной, ее легко укоротить или удлинить. Она весьма удобна для крепления к ней ковшей и других устройств. Сопротивление ленты разрыву зависит от конструкции плетения и определяется как сумма сопротивлений разрыву отдельных проволок, входящих в рассматриваемое сечение. Допускаемая нагрузка на ленту

$$T = 7,8 \cdot d^2 \cdot \varphi \cdot z \cdot [\sigma_p]$$

где d — диаметр проволоки, м;

z — число полувитков в рассматриваемом сечении;

$\varphi \approx 0,4$ — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между отдельными витками;

$[\sigma_p]$ — допускаемое напряжение растяжения для проволок, МПа.

Для проволочных лент используют такие же барабаны, как и для резинотканевой ленты, но строго цилиндрические по форме, так как при огибании проволочной лентой выпуклых барабанов стержни ленты изгибаются, лента становится выпуклой и срок службы ее сокращается.

Значения коэффициента трения проволочной ленты по барабану при работе в сухих помещениях следующие:

Стальной барабан	0,2
Барабан с резиновой футеровкой	0,35
Барабан с деревянной футеровкой	0,3

Коэффициент трения проволочной ленты по стальному барабану при работе во влажном помещении $f=0,15$.

10 Промышленные роботы

10.1 Основные понятия и определения

Промышленные роботы являются представителями машин-манипуляторов, которые предназначены для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека. Манипуляторы с ручным управлением (биотехнические) управляются оператором дистанционно или непосредственно путем перемещения рабочего органа.

К автоматическим манипуляторам относятся автооператоры, промышленные роботы и интерактивные роботы.

Автооператор — это неперепрограммируемый автоматический манипулятор.

Промышленный робот (ПР) — автоматическая машина, представляющая собой совокупность манипулятора и перепрограммируемого устройства управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций, заменяющих аналогичные функции человека при перемещении предметов производства и (или) технологической оснастки. Перепрограммируемость — это свойство робота заменять управляющую программу автоматически или оператором.

Существуют роботы, которые попеременно управляются то оператором, то автоматически. В них имеется устройство памяти для автоматического выполнения отдельных действий.

Применение ПР в значительной степени решает вопрос развития комплексной автоматизации производства с возможностью его быстрой переналадки на выпуск нового вида продукции. ПР освобождает рабочего от неквалифицированного монотонного и вредного для здоровья труда, улучшает условия безопасности рабочих и высвобождает их для выполнения новых народнохозяйственных задач.

Применение ПР позволяет повысить производительность труда в 2—3 раза, увеличить сменность работы оборудования и улучшить ритмичность. Сегодня ПР в машиностроении выполняют погрузочно-разгрузочные, транспортно-складские работы, обслуживают станки, прессы, литейные машины и т. д., а также они могут выполнять сварочные, сборочные, контрольно-измерительные, окрасочные и другие основные операции.

ПР широко применяют в горнодобывающей, металлургической нефтяной и других отраслях промышленности. Их используют в *медицине*, в сфере обслуживания, при исследовании океанов и т. д. Во всех случаях ПР позволяют автоматизировать на их основе производство со всеми вытекающими отсюда технологическими, организационными, психологическими и социально-экономическими аспектами.

Структурная схема промышленного робота представлена на рисунке 80. *Исполнительное устройство* ПР выполняет все его двигательные функции. В исполнительное устройство входит манипулятор и в общем случае устройство передвижения ПР. Манипулятор состоит из несущих конструкций, приводов, исполнительных и переда точных механизмов.

Каждая степень подвижности манипулятора имеет свой двигатель (пневматический, электрический, гидравлический). В ПР часто используют волновые и планетарные редукторы, что позволяет уменьшить объем и массу сборочной единицы при высоком коэффициенте передачи. В ПР малой грузоподъемности используют традиционные зубчатые редукторы, а в тяжелых ПР — зубчатые редукторы в сочетании с винтовой парой.

Исполнительный механизм ПР (механическая рука) осуществляет ориентирующие и транспортирующие движения. Чаще всего он имеет шарнирное исполнение. Рабочим органом ПР является *захватное устройство* (сварочные клещи, окрасочный пистолет, сварочный инструмент и т. д.). Захватное устройство захватывает и удерживает объекты, перемещаемые манипулятором. Современные ПР комплектуют набором типовых хватных устройств.

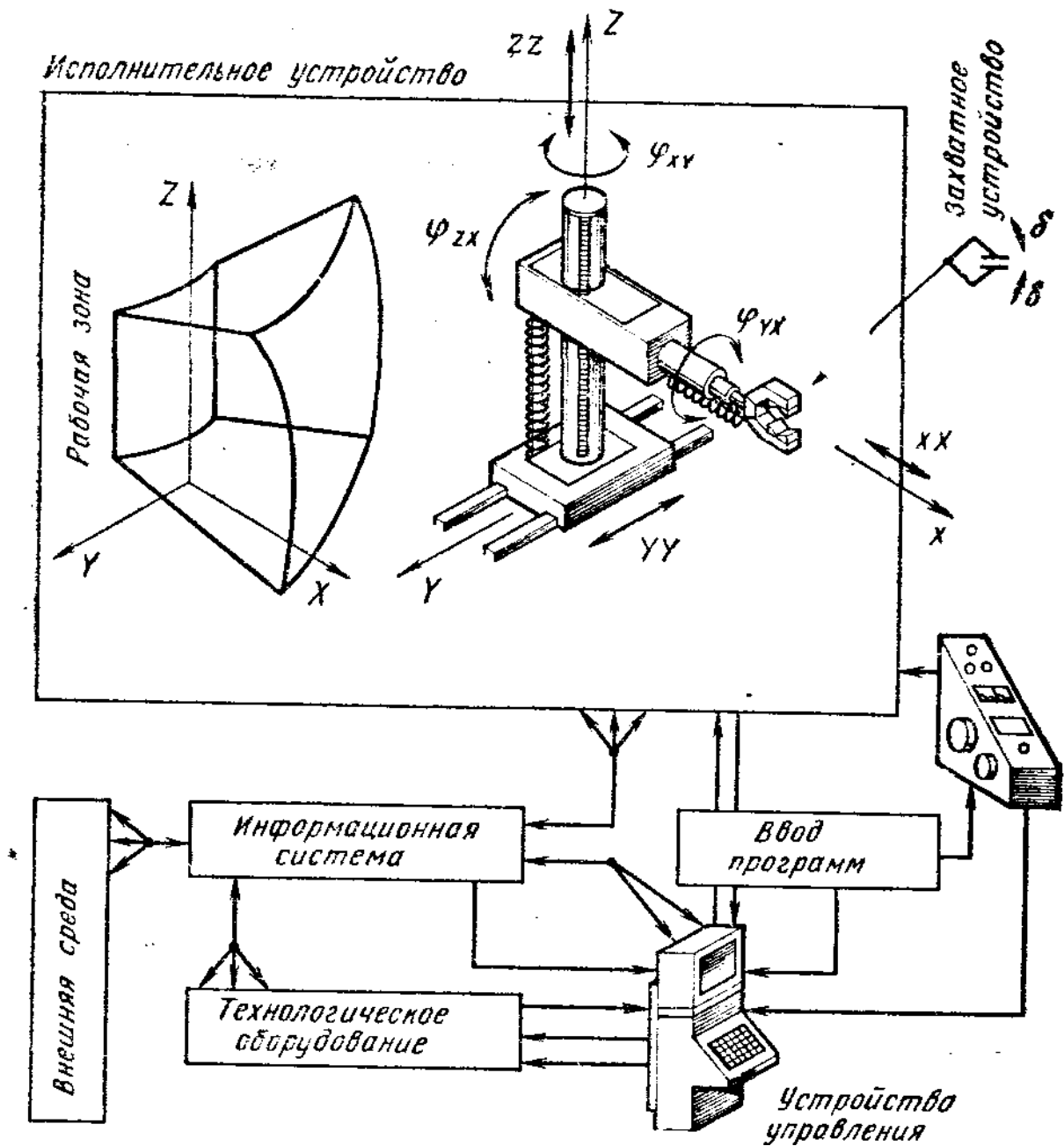


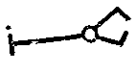
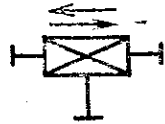



Рисунок 80 - Структурная схема промышленного робота

Устройство управления ПР служит для формирования и выдачи управляющих воздействий исполнительному устройству в соответствии с управляющей программой. В устройство управления, как правило, входят: пульт управления; запоминающее устройство, в котором хранятся программы и другая информация; вычислительное устройство и блок управления приводами манипулятора и устройства передвижения. Устройство управления используют обычно и для технологического оборудования, работающего совместно с данным ПР, или совместно работающих с ним других роботов.

Информационная система обеспечивает сбор и передачу в устройство управления данных о состоянии окружающей среды и функционировании механизмов ПР. В эту систему входит комплект датчиков обратной связи различного назначения, устройство обратной связи, устройство сравнения сигналов.

Некоторые элементы кинематической схемы ПР приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Условные обозначения элементов схем роботов и манипуляторов

Элемент	Эскиз	Элемент	Эскиз
Захватное устройство		Соединение звеньев: подвижное с перемещением вдоль прямоугольных направляющих	
Соединения звеньев:			цилиндрическое
жесткое		плоское шарнирное	

10.2 Движения в ПР

Движения разделяют на транспортирующие в направлениях XX ; ZZ ; φ_{xy} ; φ_{zx} ; ориентирующие в направлениях δ и φ_{yz} и координатное движение $Y-Y$. *Ориентирующие* движения придают захватному устройству необходимое положение в заданной точке рабочей зоны. *Транспортирующие* движения определяются размерами звеньев исполнительного механизма и служат для перемещения захватного устройства в различные точки рабочего пространства. *Координатные* движения обеспечивают перемещение ПР между отдельными производственными позициями. Эти перемещения превышают размеры самого ПР и обслуживаемого им оборудования.

Рабочие движения ПР направлены на удержание объекта и перемещение его в заданных направлениях. Установочные движения необходимы для удобства выполнения операций и увеличения зоны обслуживания.

Системы координат ПР определяют его компоновочную схему и соответственно кинематику и форму рабочей зоны. Роботы могут работать в прямоугольной декартовой, цилиндрической, сферической, угловой и комбинированной системе координат (таблица 14).

Таблица 14 - Система координат ПР и примеры компоновки

Система координат	Система основных координат перемещений	Эскиз рабочей зоны	Пример компоновки и структурной кинематической схемы
Прямоугольная плоская			
Прямоугольная пространственная			
Полярная плоская			
Полярная цилиндрическая			
Полярная сферическая			
Угловая			

В прямоугольной (декартовой) системе координат звенья механической системы имеют прямолинейные перемещения по трем (или двум — при плоской системе) взаимно перпендикулярным осям X , Y , Z . Рабочая зона ПР имеет форму прямоугольника или параллелепипеда (размеры H , L , L_1 определяют параметры рабочей зоны).

В плоской полярной системе координат объект перемещается в одной координатной плоскости и его положение определяется величиной радиуса-вектора r и углом поворота радиуса-вектора φ .

Цилиндрическая система координат характеризуется перемещением рабочего органа ПР в основной координатной плоскости в направлениях r и φ , а также по координате Z . Рабочая зона в этом случае имеет форму цилиндра, размеры H , L и угол φ определяют ее параметры,

Сферическая система координат характеризуется перемещением рабочего органа в точку пространства за счет перемещений по радиусу-вектору r и угловым перемещениям φ и θ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Рабочая зона ПР имеет в этом случае форму шара.

Угловая плоская или пространственная (цилиндрическая и сферическая) система координат характерна для движения многосвязных шарнирных рук ПР. Объект манипулирования перемещается в направлении радиуса-вектора r за счет

относительных угловых поворотов звеньев руки, имеющих постоянную длину. Увеличивается число моделей так называемых «антропоморфных» ПР, имитирующих движение руки человека и работающих в угловой системе координат. Такие ПР имеют только вращательные пары, что увеличивает зону обслуживания, маневренность и функциональные возможности.

Роботы, выпускаемые промышленностью, отличаются значительным разнообразием конструкций, технических характеристик, сфер применения и т. д. Для установления рациональной области применения роботов, составления типажа необходимо знать их классификацию по различным признакам и основные технические характеристики.

Технические характеристики промышленного робота согласно ГОСТ 25685—83 включают номинальную грузоподъемность, зону обслуживания роботом, рабочую зону ПР, число степеней подвижности, скорость перемещения по степени подвижности, погрешность позиционирования рабочего органа, погрешность отработки траектории рабочего органа.

Грузоподъемность — наибольшая масса захватываемого ПР объекта производства, при которой гарантируется захватывание, удерживание и обеспечение установленных значений эксплуатационных характеристик ПР. *Число степеней подвижности ПР* — это сумма возможных координатных движений захваченной детали относительно неподвижного звена: стойки, основания и т. д. (движение зажима детали захватным устройством здесь не учитывается). *Зона обслуживания ПР* — это пространство, в котором рабочий орган выполняет свои функции в соответствии с назначением робота и установленными значениями его характеристик. *Рабочая зона ПР* — это пространство, в котором может находиться рабочий орган при его функционировании. Рабочая зона может иметь объем от 0,01 м³ (при особо точных операциях) и свыше 10 м³ (для передвижных роботов).

Погрешность позиционирования — отклонение положения рабочего органа от заданного управляющей программой. Большинство современных ПР имеет погрешность $\pm 0,1 \dots 2,5$ мм (для грубых работ от ± 1 до ± 5 мм, для точных работ от $\pm 0,1$ до ± 1 мм, для высокоточных работ до $\pm 0,1$ мм).

Линейная скорость исполнительного механизма у большинства ПР составляет 0,5—1 м/с, а угловая 90—180 град./с.

10.3 Классификация промышленных роботов

По характеру выполняемых операций ПР подразделяют на:

- производственные, непосредственно участвующие в производственном процессе и выполняющие основные операции типа сварки, гибки, окраски, сборки и т. д.;
- подъемно-транспортные (вспомогательные) ПР, используемые для установки-снятия деталей и инструмента, обслуживания транспортеров и складов и т. д.; универсальные роботы, выполняющие как основные, так и вспомогательные операции.

По виду производства различают ПР, используемые в литейном, кузнечно-прессовом, сварочном производствах, при механической обработке, термообра-

ботке, нанесении покрытий, сборке, автоматическом контроле, транспортно-складских работах и т. д.

По степени специализации ПР делят на специальные, специализированные и универсальные. Специальные ПР выполняют определенную технологическую операцию или вспомогательный переход и обслуживают конкретную модель оборудования. Специализированные ПР выполняют операции одного вида, например сварку, окрашивание, сборку, и обслуживают определенную группу моделей оборудования, например станки с горизонтальной осью шпинделя. Универсальные ПР служат для выполнения разнородных операций и функционируют с оборудованием различного назначения. Универсальные ПР, несмотря на их большую сложность и стоимость, легче приспособить к работе со станками без особой их модернизации и изменения конструкции. Гибкие универсальные или с широкой специализацией ПР используют в автоматизированных производствах высокого уровня, например в гибких производственных системах.

По грузоподъемности различают ПР: сверхлегкие (номинальная грузоподъемность до 1 кг), легкие (номинальная грузоподъемность свыше 1 до 10 кг), средние (свыше 10 до 200 кг), тяжелые (свыше 200 до 1000 кг), сверхтяжелые (номинальная грузоподъемность свыше 1000 кг).

По числу степеней подвижности выпускают роботы с двумя, тремя, четырьмя и более четырьмя степенями подвижности.

По возможности передвижения ПР подразделяют на стационарные и подвижные. Стационарные ПР имеют ориентирующие и транспортирующие движения, а подвижные ПР дополнительно к этим двум движениям еще и координатные перемещения.

По способу установки на рабочем месте различают ПР напольные, подвесные и встроенные. Встроенные роботы компактны, но обслуживают только один станок. Напольные роботы обычно имеют более сложные задачи, например обеспечивают смену инструмента, контрольные операции, межстаночное транспортирование.

По виду систем координат ПР подразделяют на работающие в прямоугольной, цилиндрической, сферической, угловой и комбинированной системах координат. Роботы, работающие в прямоугольной системе координат, отличаются жесткостью и имеют грузоподъемность свыше 80 кг; их часто используют для транспортно-складских работ или для штабелирования. Наиболее распространена цилиндрическая система координат. В этой системе работают роботы с грузоподъемностью до 60 кг. ПР со сферической системой координат имеют высокую жесткость, большой объем рабочей зоны, распространены для грузоподъемности от 10 до 140 кг. ПР, работающие в угловой системе координат, компактны, имеют увеличенный объем рабочей зоны; применяются при грузоподъемности от 5 до 160 кг.

По виду привода ПР подразделяют на роботы с электромеханическим, гидравлическим, пневматическим и комбинированным приводами.

По виду управления ПР подразделяют на роботы с программным управлением (цикловым, числовым, позиционным, контурным) и роботы с адаптивным управлением (позиционным, контурным).

По способу программирования различают роботы, программируемые обу-

чением и аналитически (путем расчета программ). По методу обучения оператор, управляя ПР с ручного пульта, последовательно проводит захватное устройство из одного конечного положения в другое через серию точек в пространстве, которые фиксируются в запоминающем устройстве ПР. При обработке последующих деталей захватное устройство робота будет двигаться по этим зафиксированным точкам.

По методу самообучения программа формируется на основе информации о внешней среде, запоминающейся устройством ЧПУ, которое затем и выдает соответствующие команды.

Расчет программ для ПР аналогичен подготовке программ для металлорежущих станков.

Типаж промышленных роботов определяют исходя из следующих технических характеристик и параметров: назначения ПР, грузоподъемности, рабочей зоны, числа степеней подвижности, возможности передвижения (мобильности), компоновочной схемы, конструктивного исполнения, вида управления, иногда точности позиционирования (дополнительная характеристика). Компоновочная схема и конструктивное исполнение ПР зависят от применяемой системы координат (см. таблицу 14), назначения ПР, особенностей обслуживаемого оборудования, числа позиций и их расположения. Так, в компоновках модуля «станок - робот» ПР (рисунок 81, *а*) перемещает заготовку по трем координатам, подавая ее из загрузочной позиции 1 в рабочую позицию 2 станка, затем ПР снимает деталь и переносит ее в разгрузочную позицию 3. ПР, изображенный на рисунок 81, *б*, имеет еще одну степень подвижности — поворот на 180° захватного устройства вокруг вертикальной оси, что позволяет обработать заготовку с двух сторон. Перегрузочная позиция 4 позволяет совместить транспортирование заготовки, находящейся на позиции 1 и детали (поз. 3) со временем ее обработки на станке. У ПР на рис. 81, *в* применено двухзахватное устройство, что дает возможность совмещения времени транспортирования детали и заготовки.

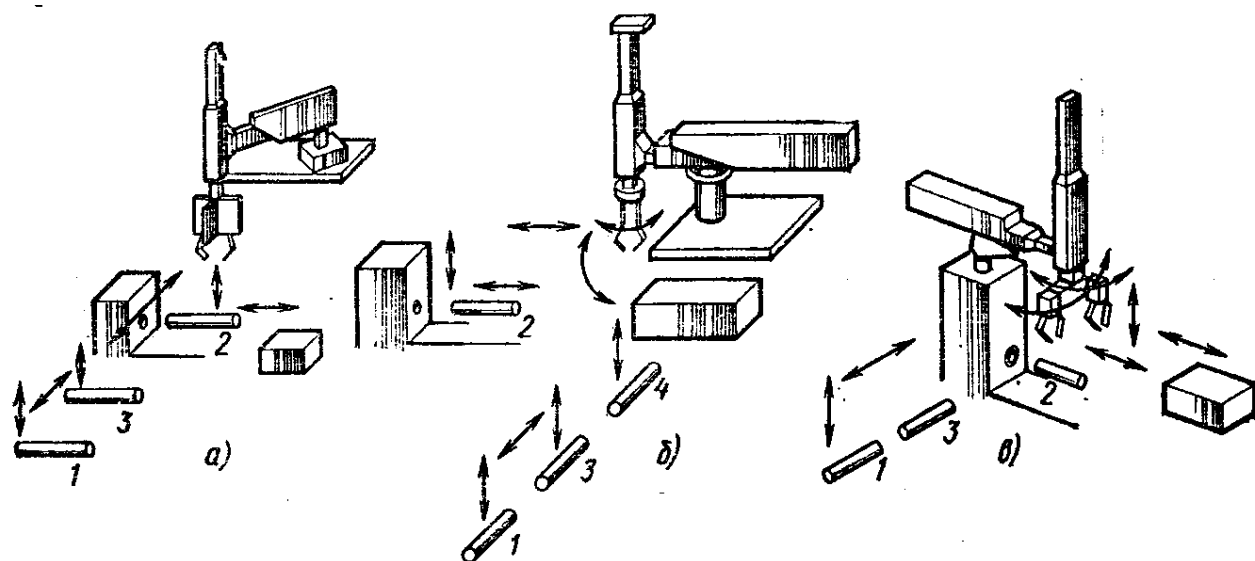


Рисунок 81 - Схемы компоновок модуля «станок—робот»

Каждая компоновочная схема может быть выполнена в нескольких конструктивных исполнениях. Каждой модификации внутри кода основной модели присваивается двухзначный номер 01 - 99.

В типаж внесены напольные роботы (с горизонтальной выдвижной рукой и консольным механизмом подъема, с горизонтальной выдвижной рукой и подъемной кареткой, с качающейся выдвижной рукой, с многозвенной рукой), порталные роботы, манипуляторы с ручным управлением и т. д.

Индексация моделей ПР проводится в следующем порядке:

1) целевое назначение; 2) вид оборудования; 3) грузоподъемность; 4) тип системы ПУ; 5) условная компоновочная схема; 6) исполнение. Например, модель СМ40Ф2.80.01 расшифровывается следующим образом: СМ — станочный манипулятор; 40 — грузоподъемность; Ф2 — с позиционной системой ПУ, 80 — индекс схемы компоновки; 01 — конструктивное исполнение.

Робототехнические транспортные тележки служат для передачи обрабатываемых заготовок от центрального стеллажа-накопителя к конвейеру-накопителю или приемно-передающим устройствам станков и рабочим позициям операторов и обратно. Траектория перемещения транспортной тележки зависит от кабеля, проложенного в полу цеха. По кабелю пропускают переменный ток, создается магнитное поле, которое взаимодействует с витками катушек индуктивности, размещенных в тележке. При этом вырабатывается сигнал, который подается в электронное устройство рулевого управления, и определяется направление движения.

10.4 Управление промышленными роботами. Классификация

Системы ПУ промышленными роботами достаточно разнообразны и классифицируются по различным признакам.

По объему информации в управляющей программе системы управления разделяют на жесткопрограммируемые и адаптивные.

ПР первого поколения, т. е. практически большинство роботов, работающих в промышленности, являются *жесткопрограммируемыми*. В них управляющая программа не корректируется в процессе обработки при изменении параметров внешней среды.

ПР с адаптивным управлением (это ПР второго поколения) имеют измерительные устройства для восприятия внешней среды. Управляющая программа в этом случае не должна содержать всю необходимую информацию. Неопределенность текущей программы снимается путем опроса датчиков системы очувствления и соответствующей обработки результатов измерения. На основе анализа параметров внешней среды и функционирования самого ПР формируются необходимые команды исполнительному устройству. Такие роботы могут самонаводиться на произвольно расположенные предметы, обходить нерегулярно появляющиеся препятствия, захватывать неориентированные заготовки из стандартной тары и

ориентировать их, контролировать наличие объекта в захватном устройстве робота и усилие зажима заготовки, регулировать скорость перемещения, например, при снятии заусенцев и шлифовании, следовать по неточно определенной в программе траектории и др. Адаптивное управление снижает требования к периферийному оборудованию, значительно упрощает программирование, позволяет использовать заготовки с более широкими допусками и т. д. Адаптивные роботы позволяют автоматизировать достаточно сложные технологические операции, такие, как сварка, окраска, сборка.

Жесткопрограммируемые ПР могут иметь элементы адаптации в конструкции. Для этого им придают сенсорные устройства и соответствующее математическое обеспечение. По сигналам датчиков у таких ПР возможна корректировка управляющей программы. К сенсорным устройствам (системам осязания) относят тактильные датчики прикосновения, датчики контроля сил и момента сил, локационные датчики ближнего и дальнего действия, а также системы технического зрения — визуальные сенсорные установки.

Высшим классом адаптивных систем являются *системы с искусственным интеллектом*, которые можно сравнить в какой-то мере с интеллектуальной деятельностью человека при выполнении им физической работы. Таким роботам (а это уже роботы третьего поколения) программа работы задается в самых общих формах. ЭВМ, получая информацию от сенсорных устройств, вырабатывает оптимальный вариант действий робота в зависимости от поставленных целей. В таких ПР заложены элементы самообучения на основе получаемого опыта. В машиностроении роботы с искусственным интеллектом найдут применение там, где происходит частая смена объектов производства, где нужно обслуживать разнородное технологическое оборудование и т. д.

По способу позиционирования рабочих органов различают ПР с позиционным (цикловым и числовым), контурным и комбинированным управлением. *При позиционных системах* управления рука ПР движется от точки к точке по жесткому маршруту, намеченному в программе. Это относительно простая система управления, позволяющая роботу выполнить несложные действия («взять» и «положить»), например установить заготовку на станок, на конвейер, в пресс, а затем после обработки снять готовые детали. Возможны и более сложные действия: уложить детали в штабеля, упаковать детали, произвести точечную сварку. Здесь уже требуется больше число запрограммированных точек. У многоточечных позиционных систем число программируемых позиций достигает нескольких сотен и ограничивается объемом памяти и допустимой погрешностью позиционирования.

В позиционных системах программа может задаваться на матричных штекерных панелях, штекерных барабанах, магнитных барабанах, набором упоров с конечными выключателями, пневмоникой (блоком управления со струйными логическими элементами).

Контурные системы управления позволяют захватному устройству осуществлять непрерывные точные и плавные перемещения по заданному контуру с заданными скоростями, а иногда с ускорением или замедлением движения на некоторых участках траектории. Здесь уже ПР выполняет более сложные задачи. Ро-

боты с контурными системами можно использовать при дуговой сварке по контуру, при нанесении лакокрасочных покрытий, при установке деталей на движущийся конвейер и снятии их. Программу работ в контурных системах управления чаще всего записывают на перфоленту или гибких магнитных дисках. Комбинированные системы управления обеспечивают как позиционное, так и контурное управление ПР.

По способу управления системы управления ПР делят на незамкнутые и замкнутые. *Незамкнутая система* не дает информации о состоянии внешней среды и функционировании самого робота. *Замкнутые системы* лишены этих недостатков и поэтому область их применения расширяется.

10.5 Виды систем управления

ПР управляются от автономных, комплексных и многоуровневых систем. Автономные системы используют для управления только ПР. В этих целях применяют как устройства управления станками, так и специализированные. Специализированные устройства для ПР отличаются возможностью программирования методом обучения, дополнительными модулями измерения показателей состояния внешней среды и механизмов робота, большим числом входов-выходов для связи с основным и вспомогательным оборудованием и т. д. Комплексные системы управления управляют комплексом «оборудование - ПР». В этом случае обычно используют серийно выпускаемые станочные системы ЧПУ, но это целесообразно только при возможности применения метода обучения при подготовке программ как для станка, так и для робота. Многоуровневые системы ЧПУ нужны там, где ПР обслуживает станки, входящие в автоматизированные участки, управляемые от ЭВМ (такие системы будут рассмотрены ниже).

Наиболее распространены в промышленности автономные унифицированные системы управления ПР, разработанные странами СЭВ.

Сюда относятся цикловые системы позиционного управления серии УЦМ (УЦМ-10, УЦМ-20, УЦМ-30, УЦМ-663), числовые устройства позиционного управления серии УПМ (УПМ-331, УПМ-552 и УПМ-772), системы контурного управления серии УКМ (УКМ-552 и УКМ-772).

Структурная схема устройства ЦПУ УЦМ-20 приведена на рисунке 82. Программа задается штекерами. Команды формируются в блоке формирования команд на основе информации, поступающей от блоков задания программ и управления. Формирователь временных интервалов обеспечивает выдержки времени между отработкой отдельных кадров управляющей программы. Устройство может управлять семью координатами, число точек позиционирования по координатам до трех. ПР, комплектуемые таким устройством, имеют ограниченные функциональные возможности. Их применяют в крупносерийном и массовом производстве для обслуживания литейного и кузнечно-прессового оборудования, металло-режущих станков и т. д.

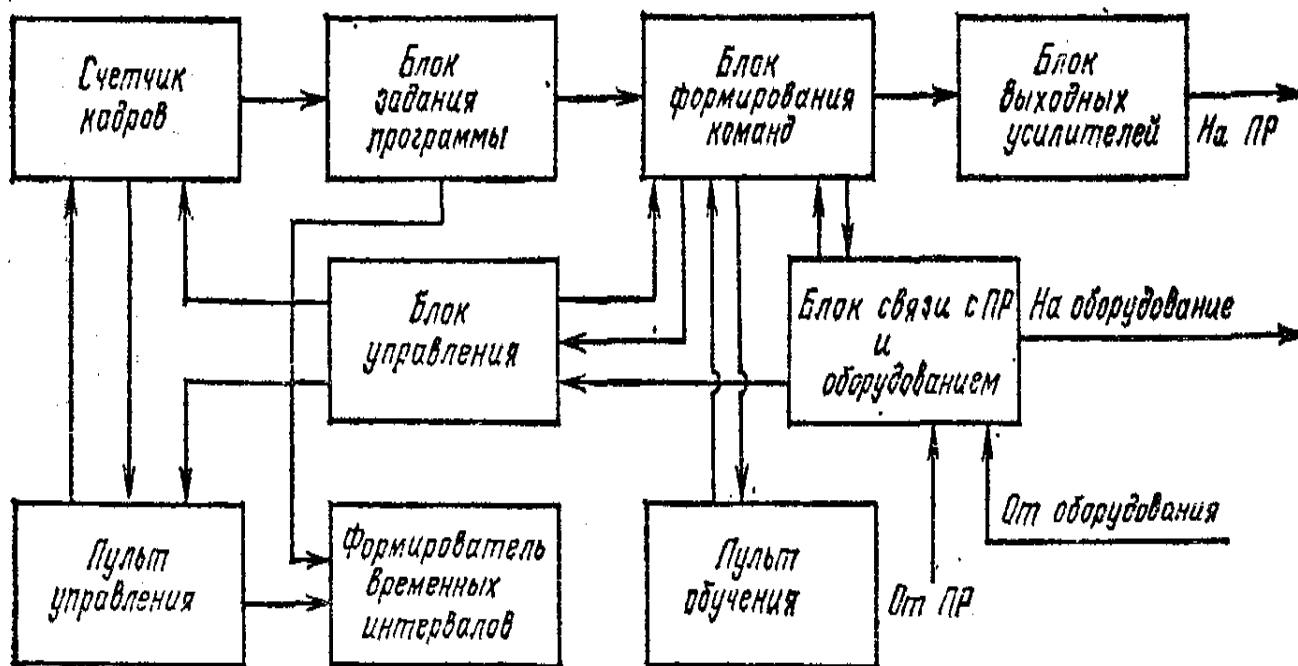


Рисунок 82 - Схема устройства циклового программного управления УЦМ-20

Числовые системы позиционного управления типа УПМ комплектуются с ПР, обслуживающими металлорежущие станки, подъемно-транспортные операции, простейшие сборочные работы и др. Технологическая информация включает до шести - десяти команд, программирование осуществляется методом обучения. Информация с пульта обучения и пульта управления записывается в оперативную память устройства, для длительного хранения ее можно переписать на магнитную ленту кассетного накопителя.

Контурные устройства ЧПУ типа УКМ-552 и УКМ-772 управляют ПР, обеспечивающими сложные перемещения рабочего органа по заданной траектории. Они выполнены на базе микро-ЭВМ «Электроника-60», программноноситель — гибкие магнитные диски. Устройство УКМ-552 предназначено для ПР, используемых в процессе окраски. Число управляемых координат до пяти. На внешнее оборудование может выдаваться до восьми управляющих команд. Устройство УКМ-772 управляет ПР, обеспечивающим процесс дуговой сварки. Число управляемых координат до семи, на внешнее оборудование может выдаваться до 32 управляющих команд.

11 Кузнечно-прессовое оборудование

Кузнечно-штамповочное производство позволяет получать фасонные заготовки, отличающиеся более высокими значениями механических характеристик материала (особенно пластичности и вязкости) по сравнению с полученными литьем, что обеспечивает повышенную надежность деталей. В таких заготовках отсутствуют поры и раковины, вероятные в литье и совершенно недопустимые в ответственных деталях. Поэтому Госгортехнадзор требует изготавливать детали, от которых зависят жизнь и здоровье людей (подвески подъемных кранов, сосуды со сжатыми газами и др.), только из заготовок; полученных обработкой давлением

(прокаткой, ковкой штамповкой и др.). Однако литейное производство позволяет получать более дешевые, более сложные заготовки; крупные заготовки могут быть получены более доступными средствами, с применением более распространенного оборудования.

11.1 Оборудование для резки заготовок

Резка проката и слитков УНРС — самая распространенная операция металлообработки. *Кривошипные ножницы* выполняют резку заготовок сдвигом одной части заготовки относительно другой. Имеются кривошипные ножницы для резки сортового проката (круглого, квадратного, профильного), листового проката и комбинированные. Сортовые ножницы выпускаются с номинальным усилием до 40 МН (модель НА1546), они могут резать круглые штанги диаметром до 320 мм (при $\sigma_{\text{в}} = 500$ МПа), квадрат со стороной до 300 мм, полосу 450x200 мм и совершают 12 ходов в минуту. Мелкие сортовые ножницы могут совершать до 50 ходов в минуту.

Сущность такого способа резки прутков (рисунок 83, а) состоит в том, что в верхнем положении ножа 4 и прижима 3 пруток 2 подается до упора о, после чего прижим опускается и прижимает пруток к неподвижному ножу 1, затем подвижной нож отрезает заготовку 5. Длина заготовки меняется регулированием упора.

Резка на кривошипных ножницах высоко производительна и происходит без отходов (вызванных самим процессом резки).

Недостатком является искажение формы заготовки, косина (неперпендикулярность торцов образующей заготовки), смятие c и утяжины y . Не всегда удовлетворительна и точность резки. Для уменьшения искажений формы заготовки выпускаются ножницы (Н1834 и Н1838) для резки с *дифференциальным зажимом*, при которой пруток и заготовка зажимаются силой Q , пропорциональной усилию резки P . Для того чтобы избежать косины торцов, применяют резку с наклоном прутка (рисунок 83, б). *Резку с предварительным подогревом* применяют для предотвращения дефектов (трещин), снижения усилия и повышения точности отрезаемых заготовок.

Разрезка в штампах на прессах позволяет добиться более высокой (чем на ножницах) точности размеров и формы, особенно при применении резки с осевым подпором (закрытая резка), создающей в зоне реза напряженное состояние всестороннего сжатия. Отрезка в этом случае происходит за счет пластического сдвига по всему сечению, а не за счет скола, развитие трещины при котором невозможно контролировать. Закрытой резкой можно получать точные короткие заготовки длиной не менее 0,2 поперечного размера заготовки. Применяется также *холодная ломка* на прессах проката, на которой предварительно нанесены канавки-концентраторы напряжений; точность ломки невысока.

Отрезка заготовок со снятием стружки на *отрезных станках* отличается высокой точностью и практически отсутствующим искажением сечения заготовки в зоне реза, однако имеет меньшую производительность и сопровождается отходом металла в стружку.

Применяется также *газокислородная резка* сортового проката и листового проката.

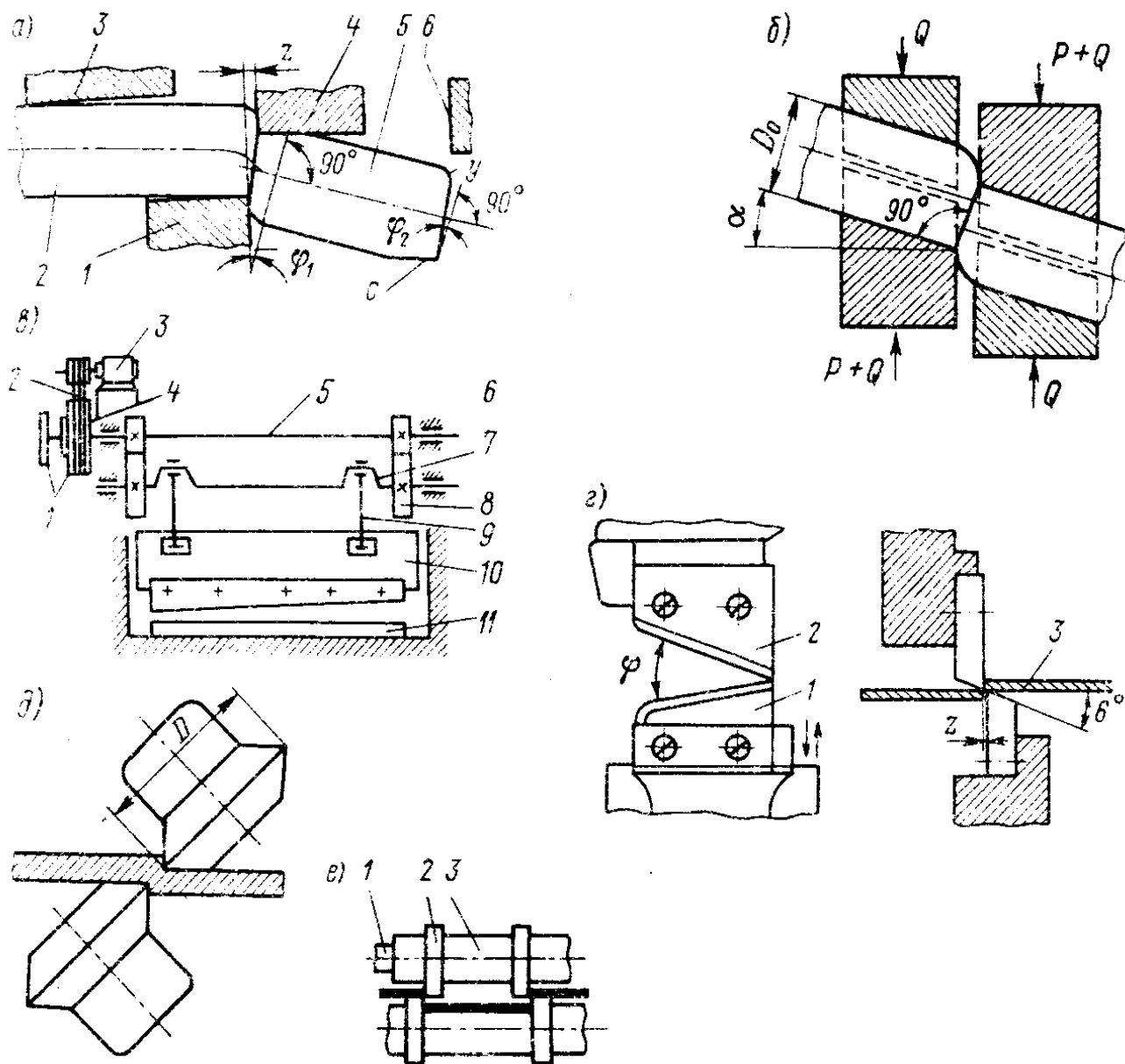


Рисунок 83 - Схемы резки заготовок

Для резки листа применяются ножницы кривошипные листовые с *наклонным ножом* наибольшим усилием 2240 кН. Они могут резать листы толщиной до 32 мм, шириной до 3150 мм, производя до 30 резов в минуту. Мелкие листовые ножницы могут делать до 100 резов в минуту. Кривошипные ножницы (рисунок 83, *в*) представляют собой двухкривошипный пресс, приводимый электродвигателем 3 через клиноременную передачу 2, вал 5 и шестерни 6 и 8, передающие вращение на кривошипный вал 7. После подачи листа до упоров рабочий, нажимая педаль, включает фрикционную муфту, сцепляющую шкив 4 с валом 5, который вместе с кривошипным валом поворачивается, шатуны 9 двигают ползун 10 с наклонным ножом, который вместе с нижним ножом 11 режет лист. При возврате ползуна в верхнее положение муфта отключается, а тормоз 1 останавливает валы 5 и 7.

Ножницы листовые гидравлические с наклонным ножом применяются для резки листа толщиной до 32 мм и шириной до 3150 мм, скашивания кромок на за-

готовках под сварку или прямолинейной резки с одновременным скашиванием кромок.

Комбинированные пресс-ножницы (например, НР5222) предназначены для резки сортового, фасонного и листового проката и пробивки отверстий при любой серийности производства.

Ножницы высечные (например, Н4518) применяются для фигурной резки листового материала, отбортовки и рифления. Их подвижный нож 1 (рисунок 83, г) совершает 500—2000 ходов длиной 2—10 мм в минуту и совместно с неподвижным производит резку при постепенном продвижении материала. За отдельную плату оснащаются координатным устройством.

Ножницы листовые двухдисковые с наклонным ножом (например, Н4418) применяются для фигурной резки, отбортовки и гибки листового материала (схема резки приведена на рисунок 83, д). Ножницы *многодисковые* (например, НА0108) служат для резки рулонного материала на ленты. Их дисковые ножи 2 (рисунок 83, е) устанавливаются на шпинделе 1. Необходимая ширина лент достигается за счет втулок 3.

Промышленность выпускает комплексы оборудования на базе ножниц сортовых закрытых: АКНА1536.01 и АКН1838. Последний из комплексов, более мощный, имеет номинальное усилие 6300 кН, может резать круг диаметром до 125 мм, квадрат со стороной до 100 мм, производя до 20 резов в минуту и допускает двухручьевую резку (одновременно можно резать два прутка уменьшенного по сравнению с максимальным поперечника). В состав комплексов входят ножницы сортовые с дифференциальным зажимом Н1838А и стеллаж механизированный СМ9 (рисунок 84). Комплекс снабжен механизмом раскладки прутков и распределителем потока заготовок. Прутки подаются на стеллаж краном и рассыпаются по стеллажу автоматически. По команде со стеллажа 1 на рольганг 2 выдается один или два (при двухручьевой резке) прутка. Рольганг подает пруток до упора, установленного на заданную длину заготовки. Контакт на упоре дает команду на включение муфты ножниц. Выпускаются также комплексы на базе комбинированных пресс-ножниц: АКНВ5222.01, АКНВ5222.04, АКНВ5221.04, состоящие из ножниц и рольганга (приводного или неприводного).

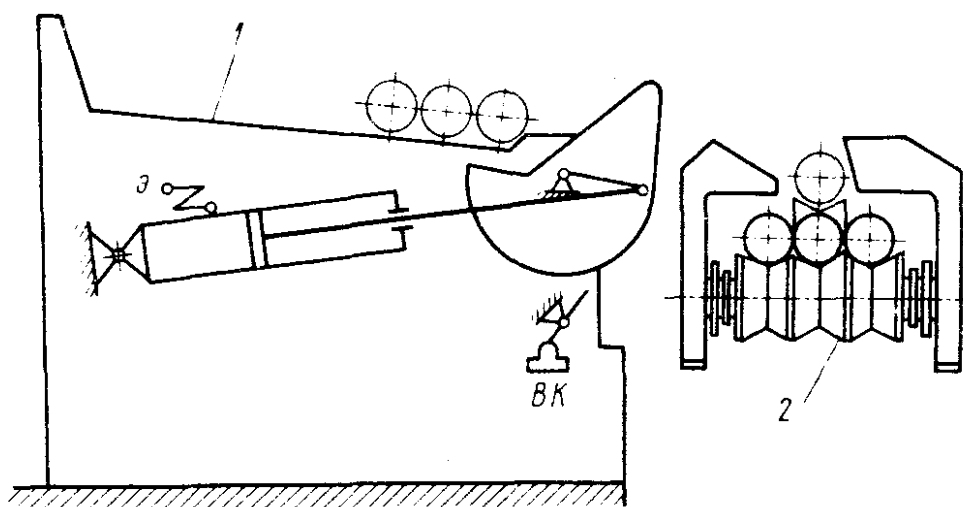


Рисунок 84 – Схема механизированного стеллажа

Имеются также комплексы: на базе пресс-ножниц комбинированных; для резки проката в штампах (в том числе с подогревом); на базе листовых кривошипных ножниц. Имеются ножницы и комплексы, оснащенные системами числового программного управления (ЧПУ).

11.2 Нагревательное оборудование

Нагрев металла перед обработкой давлением предназначен для уменьшения (в 10—15 раз) сопротивления металла деформированию. Другой целью нагрева может быть повышение пластичности.

Нагревательные устройства кузнечных и штамповочных цехов делятся на пламенные, электрические и комбинированные. *Пламенные печи* работают на природном газе или мазуте. Пламенный нагрев универсален, обладает меньшей себестоимостью и требует в 2—3 раза меньше капитальных затрат. По характеру распределения температуры в рабочем пространстве печи делятся на камерные и методические. В камерных печах температура одинакова во всех точках рабочего пространства. Загрузка и выгрузка производится через окно, закрываемое заслонкой. Камерные печи по размеру рабочего пространства делятся на малые, средние, большие. По числу камер они могут быть одно- или двухкамерными. Под (дно печи) больших камерных печей может быть выдвижным — для возможности применения цеховых мостовых кранов для загрузки и выгрузки изделий (при выдвинутом поде, на котором лежат заготовки, открывается доступ к изделиям сверху, необходимый для мостовых кранов).

Очковые печи строятся в виде вертикально расположенного полого цилиндра или многогранной призмы с отверстиями в стенках для нагреваемых заготовок и применяются для нагрева концов прутковых заготовок. Очковые печи могут поворачиваться вокруг вертикальной оси. Щелевые печи имеют то же применение, что и очковые, но вместо отверстий имеют широкую щель для загрузки заготовок в печь.

Двухкамерные печи позволяют производить постепенный, двухстадийный нагрев легированных сталей с низкой теплопроводностью во избежание образования трещин, вызванных растяжением «холодных» внутренних слоев под действием теплового расширения «горячих» наружных. При сжигании газа в одной камере в ней производится окончательный нагрев садки, в другой камере отходящие газы производят предварительный подогрев садки. После должного нагрева горячая садка в первой камере заменяется холодной и включаются горелки второй камеры, а горелки первой отключаются.

У методических печей температура растет от места загрузки заготовок к месту их выгрузки; заготовки в них перемещаются толкателями, конвейерами, шагающими балками (подом), рольгангами. Методические печи могут иметь две, три, четыре зоны с различной температурой. Большинство печей имеют рекуперативные или регенеративные устройства для подогрева воздуха и топлива теплотой отходящих газов.

В методических печах (рисунок 85, а) заготовки 2 перемещаются толкателем 1 (транспортном, шагающими балками и др.) по подкладкам 3 от места загрузки к окну для выдачи нагретых заготовок 4, навстречу потоку продуктов сго-

рания топлива от горелок 5 (для газа) или форсунок (для мазута). В зоне I печи производится предварительный подогрев, в зоне II — нагрев до окончательной температуры, в зоне III температура в разных точках заготовки выравнивается.

У кольцевых печей с вращающимся подом (рисунок 85, б) окна загрузки 5 и выдачи 7 находятся рядом и разделены только перегородкой 6. Это создает возможность загрузки и выгрузки заготовок одним ходом посадочной машины. Заготовки нагреваются за время поворота кольцевого пода 1, перемещающего заготовки из зоны подогрева 3 (4 — дымоход для отвода продуктов горения в трубу) в зону высоких температур 8 с горелками 9. Эти зоны разделены цилиндрическим выступом 2.

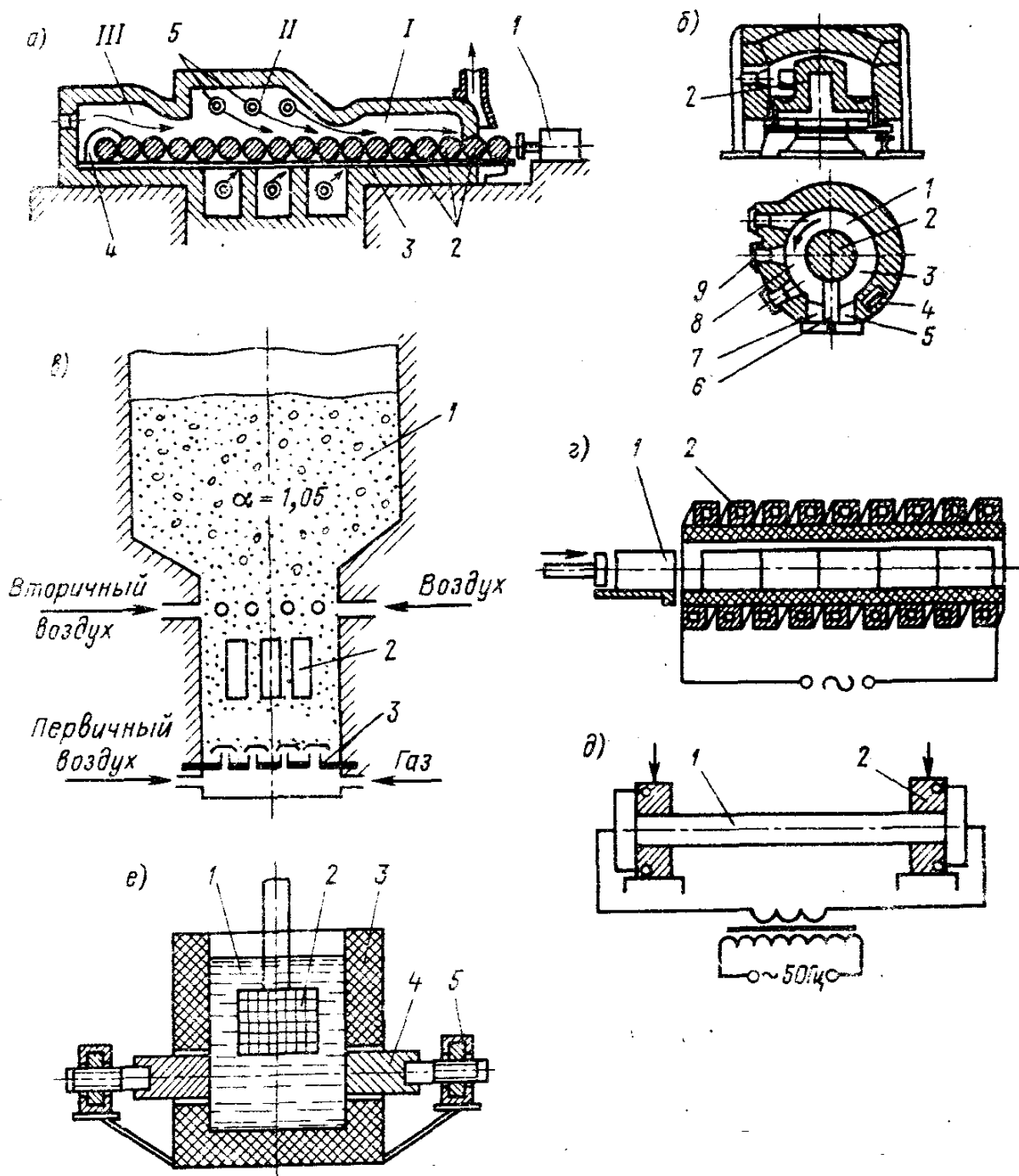


Рисунок 85 - Схемы нагревательных устройств

Нагрев в печах с воздушной атмосферой приводит к угару, достигающему 2—3%. Наличие на нагретой заготовке окалина приводит к потерям металла, снижает стойкость штампов, ухудшает качество поковок, приводит к увеличению припусков, поэтому приходится производить очистку заготовок от окалины. Для предотвращения окисления поверхности заготовок применяются печи малоокислительного нагрева. В таких печах сжигание газа в зоне заготовок производится недостатком воздуха, поэтому заготовки окружены восстановительной атмосферой. Продукты горения, поднимаясь вверх, дожигаются при введении вторичного воздуха.

Надежно гарантируют отсутствие обезуглероживания поверхности камерные муфельные печи. Здесь заготовки нагреваются в герметичном муфеле из карборундовых плит, встроенном в печь, в котором поддерживается восстановительная атмосфера эндогаза, состоящая из оксида углерода, азота, водорода. Здесь угар составляет около 0,2%, а обезуглероженный слой - около 0,2 мм. Кроме восстановительной нагревательные устройства могут иметь инертную, науглероживающую, экзотермическую (безокислительная, необезуглероживающая смесь газов), окислительную или специальную (для азотирования, хромирования и др.) атмосферу.

Значительного уменьшения угара можно добиться сокращением времени нагрева в печах скоростного нагрева путем интенсификации теплообмена за счет конвекции при обдуве поверхности заготовок высокоскоростными струями продуктов сгорания. Заготовки механизмом продвигаются через печь. Достоинством печи является также быстрый (за 20 мин) выход на рабочий режим от холодного состояния.

Нагрев заготовок *в кипящем слое 1* мелкозернистого огнеупорного материала (карборунда, кварца), продуваемого продуктами горения, обеспечивает широкие возможности безокислительного нагрева и нагрева без обезуглероживания поверхности заготовок. Здесь (рисунок 85, в) заготовки 2 находятся в нижней части с восстановительной атмосферой, так как там газ сжигается с недостатком воздуха (коэффициент расхода воздуха $\alpha = 0,4—0,5$). Дожигание продуктов неполного горения производится выше заготовок. Вследствие интенсивного перемешивания частиц температура кипящего слоя по всей высоте одинакова и достаточно высока. Кипящий слой обеспечивает высокую равномерность нагрева.

Первая буква индекса пламенных печей указывает на их назначение: Н — нагревательная; Т — термическая; вторая на основной конструктивный признак: А — с вращающимся подом, карусельная; Б — барабанная; В — ванная; Д — с выдвигаемым подом; Е — с подвесным конвейером; И — с пульсирующим подом; К — конвейерная; Н — камерная периодического действия; Р — рольганговая; Т — толкательная; У — методическая кузнечная; Ш — шахтная; Щ — щелевая; Э — элеваторная; Ю — с шагающим подом; Я — ямная; третья буква индекса печи — на характер среды в ее рабочем пространстве: А — азот; В — вакуум; Г — металлы или щелочи; З — защитная атмосфера; С — соль, селитра; Ц — цементационный газ. За буквами следуют три группы цифр, определяющих ширину, длину и высоту рабочего пространства печи, в дм; для печей с вращающимся подом указывают внешний диаметр и ширину кольцевого пода. Затем под косой чертой ука-

зывают предельную температуру нагрева в сотнях градусов, далее идут дополнительные характеристики, например вид топлива: Г — газ; М — мазут. Таким образом, индекс НЩО-10 12.8/13Г означает: печь нагревательная щелевая с воздушной (окислительной) атмосферой с размерами рабочего пространства 10x12x8 дм, с рабочей температурой 1300°С, газовая. Имеются проекты щелевых печей с размерами рабочего пространства до 20x18x16. Производительность их при нагреве легированных сталей 200 кг/(м²·ч), углеродистых и низколегированных 400 кг/(м²·ч); расход топлива для легированных сталей мазута 225—250 кг/т, природного газа 275—300 м³/т, для углеродистых сталей расход топлива вдвое меньше.

Камерные нагревательные печи со стационарным подом и заслонкой для нагрева малогабаритных заготовок (индекс ННО) имеют рабочее пространство размерами до 25x30x20 дм. Производительность их такая же, как у щелевых..

В обозначении кузнечных печей с индексом НУО указываются ширина и длина пода, например НУО-12.40/13. Такие печи имеют размеры до 20x100 дм, производительность 230—250 кг/(м²·ч) при нагреве высоколегированной стали и 350—390 кг/(м²·ч) при нагреве низколегированной и углеродистой стали. Печи с вращающимся кольцевым подом (индекс НАОК) с размерами до 100x20x16 имеют производительность 200 кг/(м²·ч), максимальный расход топлива: природного газа 125 м³/т, мазута 100 кг/т.

Печи с выдвигным подом НДО имеют размеры рабочего пространства до 60 x 120 x 50 дм. В обозначении этих печей (например, НДО-60.120.50/13 - 470) последнее число обозначает максимальную нагрузку пода в тоннах. Их производительность 150 кг/(м²·ч) для легированной стали и до 200 кг/(м²·ч) для углеродистой и низколегированной.

Электронагрев, по сравнению с пламенным, характеризуется более высокой себестоимостью и требует более высоких капитальных вложений, но позволяет достичь более высокой производительности труда, провести полную автоматизацию, обеспечить стабильность процесса нагрева, улучшить условия труда и сократить угар металла. Основными видами оборудования для электронагрева являются: электропечи сопротивления, индукционные нагреватели, установки электроконтактного нагрева и ванны с расплавами солей; стекла, электролитов.

Электропечи сопротивления отличаются универсальностью размеров, форм и материалов нагреваемых заготовок, высокой точностью (до ±5°) и равномерностью нагрева, высоким КПД и коэффициентом мощности; просты в эксплуатации; работают с контролируемой атмосферой и вакуумом. Их основные недостатки: трудность получения высоких (более 1200° С) температур; длительность прогрева крупных заготовок, так как прогрев происходит только с поверхности; разрушение огнеупорной кладки в результате вибраций, вызванных работой кузнечного оборудования, необходимость длительного охлаждения для ремонта печи и последующего длительного нагрева.

Источником теплоты здесь служат нагреватели различных видов, изготовленные из материалов с повышенным электрическим сопротивлением (например, нихром, хромаль, карборунд, дисилицид молибдена, вольфрам, молибден и др.). Наиболее распространены *нагреватели в виде проволочных спиралей и зигзагов, ленточных зигзагов, в виде листа*. Трубчатые электронагреватели (ТЭН) приме-

няются для получения температур до 600 °С и состоят из трубки, содержащей нихромовую спираль и заполненной периклазом (кристаллическим оксидом магния) с хорошими электроизоляционными свойствами и высокой теплопроводностью. *Нагреватели из дисилицида молибдена* имеют, как правило, вид U-образного стержня, предназначены для работы при температурах 1600 - 1450° С в окислительной атмосфере. Карборундовые (силитовые) нагреватели имеют вид стержней и труб, предназначены для печей с температурой 1300 - 1350° С. Они хорошо работают в печах непрерывного действия с воздушной атмосферой.

Для нагрева под ковку и штамповку используют камерные, карусельные толкательные, конвейерные и рольганговые печи сопротивления.

В маркировке нагревательных печей сопротивления первая буква - С указывает на печь сопротивления, вторая и третья - означают то же, что и у пламенных. Четвертая (вспомогательная) буква означает: А - агрегат из нескольких печей; Л - лабораторная печь; Н - прецизионная; С - сушильная; П - проходная; М - муфельная; Х - с камерой охлаждения; У - для сыпучих материалов; Э - для эмалирования; для вакуумных печей исполнения теплоизоляции: Г - графитовая; Ф - керамическая; Э - экранная.

После букв следуют размеры рабочего пространства в дм: для прямоугольных печей - ширина, длина, высота; для цилиндрических - диаметр и высота; для карусельных - диаметр внешний, диаметр внутренний и высота. Затем через дробь указывается максимальная температура в сотнях градусов. Так, маркировка СНО-8.16.5/10-И2 означает: электропечь сопротивления камерная с окислительной (воздушной) атмосферой с размерами рабочего пространства 8 дм (ширина) на 16 дм (длина) на 5 дм (высота), максимальная температура 1000 °С, исполнение второе; САО-8565.7/11-И1 - маркировка карусельной печи с наружным диаметром 8,5 м, внутренним диаметром 6,5 м; высотой 0,7 м, максимальная температура 1100 °С, исполнение первое.

При *индукционном нагреве* (рисунок 85, з) заготовки 1 продвигаются толкателем через спираль из медной трубки (индуктор) 2, по которой для охлаждения циркулирует вода и пропускается переменный электрический ток. Заготовки нагреваются за счет индуцированных в них токов. Индукционные нагревательные устройства позволяют концентрировать большие мощности, достигать высокой температуры нагрева и производительности, легко поддаются ремонту, позволяют осуществлять поверхностный нагрев, однако в них трудно добиться равномерности и точности нагрева; обычно они имеют низкий КПД и коэффициент мощности (для повышения последнего применяют конденсаторы); индукционные установки с источниками питания дороже и сложнее печей сопротивления.

Кузнечные индукционные нагреватели КИН непрерывного действия предназначены для нагрева по всей длине мерных круглых и квадратных заготовок из разных сплавов. Движение заготовок в них осуществляется кулисными, шаговыми и другими механизмами. Нагреватели КИН периодического действия предназначены для нагрева концов заготовок. Все нагреватели одноручьевые, имеют правое и левое исполнение, что позволяет монтировать их вплотную друг к другу. Для их работы в цехе необходимо иметь подстанции машинных преобразователей частоты тока (которые не входят в комплект нагревателя КИН).

КИН2-1500/2,4Ш означает: кузнечный индукционный нагреватель номер 2

мощностью 1500 кВт, частотой тока 2,4 кГц с шаговым механизмом перемещения заготовок. Другие виды механизмов перемещения обозначают: П - пневматический, К - кулисный, механический.

Индукционные комплектные установки (например, ИК1-1500/1) для нагрева мерных заготовок в отличие от КИН имеют индивидуальное питание от тиристорных преобразователей частоты ТПЧ.

Установка серии ИН для нагрева прутков многосекционного типа набирается из 1 - 20 модулей, состоящих из одного-двух индукторов, приводных роликов, механизма проводки прутков между индукторами и конденсаторной батареи. В состав установок входят машинные преобразователи частоты ОПЧ. Обозначение, например, ИН2-250/10.

Установки серии ИНМ непрерывного и периодического действия работают на промышленной частоте 50 Гц. Пример обозначения: ИНМ-130П-36/42Н-И1, что расшифровывается так: индукционный нагреватель мерных заготовок мощностью 130 кВт, промышленной частоты, наибольший диаметр нагреваемой заготовки 36 см, длина заготовки не более 42 см, непрерывного действия, исполнение первое.

Частота тока индуктора определяется соображениями достижения приемлемого электрического КПД при высокой скорости нагрева. Чем больше диаметр заготовки, тем меньше оптимальная частота. Так, частота 50 Гц оптимальная для диаметров: для стали больших 160 мм, для меди 70 мм, для алюминия 85 мм, для латуни 100 мм.

В *электроконтактных* нагревателях (рисунок 85, д) нагрев происходит за счет сопротивления материала заготовки 1, зажатой в контактах 2 (отсюда второе название способа: нагрев сопротивлением), прохождению электрического тока большой плотности. Этим способом рекомендуется нагревать длиномерные заготовки (длиной более 1,5 поперечника заготовки в квадрате) постоянного сечения диаметром не более 100 мм. Контактный нагрев характеризуется высокой скоростью, меньшим угаром (несколько десятых долей процента), лучшими условиями работы, что выгодно отличает его от печного нагрева; от индукционного нагрева его отличают более равномерное распределение температуры по сечению нагреваемой заготовки, возможность получения в центре сечения заготовки более высокой температуры, чем на поверхности, - для обеспечения оптимальных условий деформации. КПД контактного нагрева достигает 93 %. К недостаткам способа относятся: низкая стойкость контактов и неравномерность нагрева по длине заготовки из-за влияния водоохлаждаемых контактов. Выпускаются однопозиционные (например, ЭУ150), двухпозиционные (Н010...Н056), четырехпозиционные (2839...2850) установки электроконтактного нагрева.

Нагрев в ваннах с расплавленными солями, щелочами, селитрой отличается быстротой, равномерностью, отсутствием угара при нагреве до 1300 °С без защитной атмосферы, чистотой поверхности заготовки, малым обезуглероживанием. Пленка соли на поверхности заготовки незначительна и после мгновенного окунания в воду отваливается, при этом температура заготовки снижается всего на 5 – 15 °С. К недостаткам способа относятся: большой расход солей за счет испарения при высоких температурах и более высокая стоимость нагрева по сравнению с газовыми печами. Нагрев в расплавленных солях может осуществляться в

электрических электродных печах с механизацией окунания заготовок в расплавы и а электрических ваннах.

В электрических ваннах производят нагрев под штамповку и термообработку, пайку, плавление алюминиевого скрапа и др.; по способу нагрева теплоносителя различают ванны прямого нагрева (электродные) и ванны с косвенным нагревом нагревателями сопротивления, расположенными снаружи или внутри тигля с теплоносителем. В электродные ванны (рисунок 85, *e*) ток для нагрева расплавленной соли 1 и помещенных туда заготовок 2 подводится по электродам 4, проходящим через стенки тигля 3. По мере изнашивания электроды продвигаются механизмами 5. Электродные ванны могут быть прямоугольными (низко- и среднетемпературные) и шестигранными (средне- и высокотемпературные). Пример обозначения прямоугольной ванны: СВС-3,5.8.4/8,5.5М-01; шестигранной: СВС-2,5/13.

Для нагрева в расплавленном стекле малых заготовок диаметром до 70 мм применяют стационарные печи ванного типа. Заготовки диаметром более 40 - 60 мм и длиной не менее 100 - 150 мм нагревают во вращающихся барабанных печах. Печи с устройством для периодического погружения заготовок в расплав эффективнее ванн и применяются для заготовок диаметром от 30 до 150 мм. Нагрев в расплавленном стекле позволяет полностью избежать окислений и обезуглероживания поверхности заготовок, отличается быстротой. Заготовка диаметром 20 мм из стали 40 может быть нагрета до 1120 °С за 1,8 мин. К недостаткам способа относятся: трудность удаления с заготовки пленки стекла перед штамповкой и способность стекла растворять оксиды железа, повышающие вязкость стекла и толщину пленки.

Применение *комбинированных методов нагрева* позволяет использовать преимущества обоих комбинируемых способов. Например, при пламенно-индукционном нагреве заготовки до 600 – 900 °С нагреваются в пламенной печи, а затем до требуемой температуры - в индукторе. Это позволяет сочетать снижение капитальных вложений и себестоимости нагрева (преимущества пламенного нагрева) с высокой скоростью индукционного нагрева при температурах интенсивного образования окалина и обезуглероживания. В индуктор поступает заготовка, прогретая до температуры выше точки Кюри, поэтому глубина проникновения тока сразу достигает максимальной величины, и температура по всему сечению заготовки повышается равномерно.

11.3 Оборудование для ковки

Рассмотрим основные переходыковки (рисунок 86, *a - л*). *Осадка* (рисунок 86, *a*) заключается в увеличении площади поперечного сечения заготовки путем уменьшения ее высоты и применяется:

- для получения поковок с большими поперечными сечениями из заготовок с меньшими поперечными сечениями (которые легче резать), например дисков, шестерен, для уничтожения литой дендритной структуры слитка и улучшения механических свойств материала. Последние зависят от степени деформации, измеряемой при ковке уковом, т. е. отношением площадей после деформации и до нее.

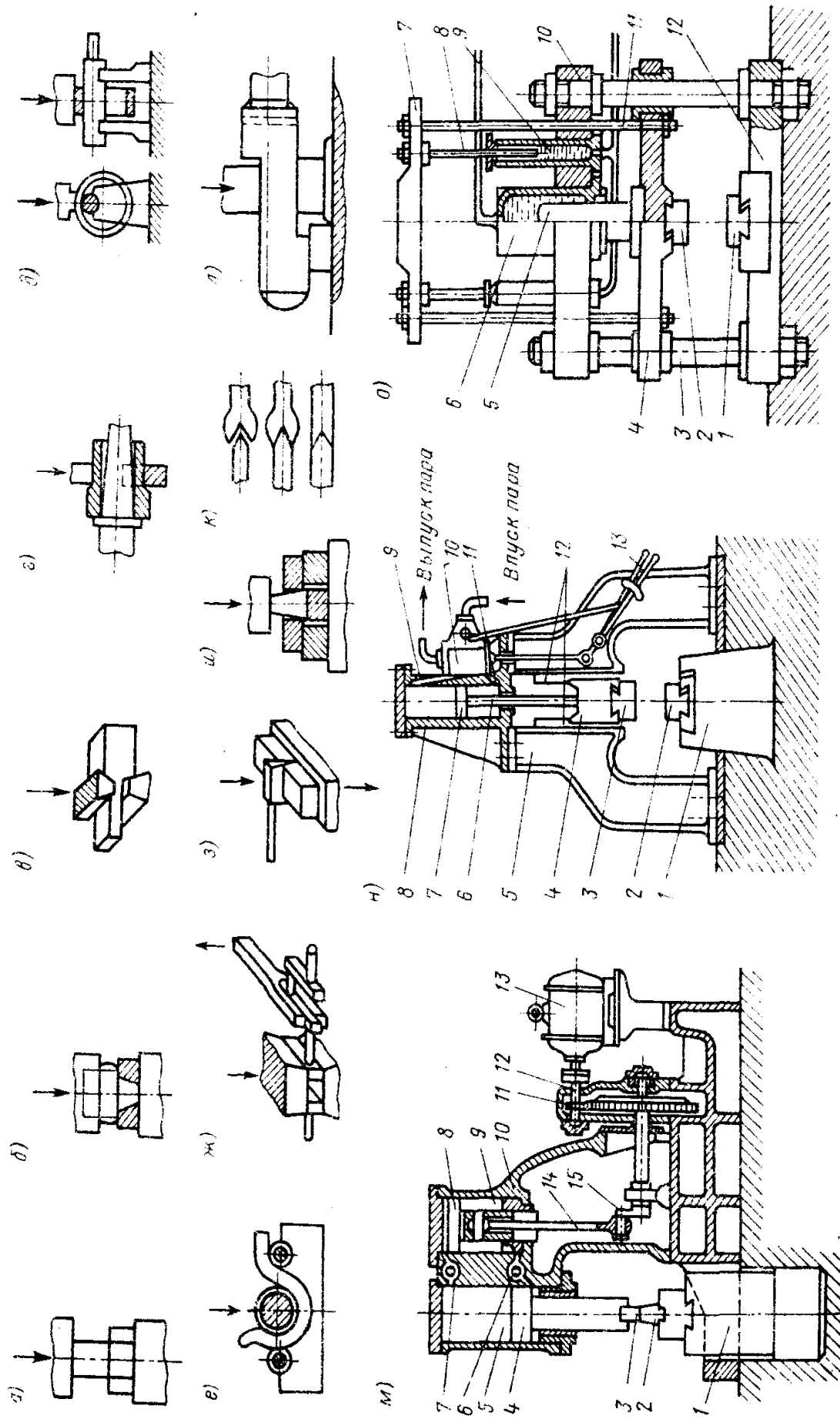


Рисунок 86 - Схемы операций краны и кочного оборудования

Во избежание продольного изгиба и образования на поковке складки при осадке не должно нарушаться соотношение, гарантирующее устойчивость заготовки: высота ее не должна превышать 2,5 наименьшего поперечного размера. Разновидностями осадки являются *осадка в кольцах* (рисунок 86, б) и *высадка*, применяемые для получения дисков со ступицами (при высадке диаметр заготовки берется по наименьшему диаметру поковки и заготовка ставится внутрь кольца).

Протяжка (рисунок 86, в) применяется для увеличения длины поковки или ее части за счет уменьшения площади ее поперечного сечения. При протяжке заготовка получает движение подачи и кантовки (поворот относительно продольной оси, например, на 90° - для уничтожения уширения), последовательность которых может быть различной. При протяжке круглых заготовок на плоских бойках возникает осевая рыхлость (в результате возникновения в осевой зоне растягивающих напряжений за счет ее расклинивания зонами затрудненной деформации). Во избежание этого применяют вырезные бойки. Их применяют также при вытяжке труб на оправке (рисунок 86, г).

Раскатка кольца на оправке (рисунок 86, д) применяется для увеличения его диаметра и уменьшения поперечного сечения. После каждого обжатия кольцо на оправке поворачивается.

Гибка (рисунок 86, е) выполняется для искривления заготовки и производится в приспособлении или краном.

Скручивание (рисунок 86, ж) производится для поворота одной части заготовки относительно другой, например при изготовлении коленчатых валов, когда оси мотылевых шеек, откованных в одной плоскости требуется развернуть, например, на 120° . При скручивании одну часть заготовки зажимают между бойками, другую - поворачивают различными приспособлениями.

Отрубка (рисунок 86, з) служит для отделения части заготовки (слитка, проката) и выполняется внедрением в нее топора.

Прошивкой (рисунок 86, и) путем внедрения а поковку сплошных и полых прошивней получают углубления и отверстия. Во избежание зарубки бойков молота или пресса прошивнем при его выходе из поковки применяют подкладные кольца или производят прошивку с двух сторон. Прошивка сопровождается образованием отхода - выдры.

Кузнечная сварка (рисунок 86, к) состоит в проковке в сложенном виде двух частей (например, концов изогнутой кольцом заготовки) для их соединения. Температура должна быть выше 1100°C (порог свариваемости), сталь не должна содержать много углерода.

Передача (рисунок 86, л) — смещение одной части заготовки относительно другой при сохранении параллельности осей или плоскостей частей заготовки. Применяется, например, при ковке коленчатых валов. Для машиннойковки применяют пневматические молоты, паровоздушные ковочные молоты, гидравлические ковочные прессы.

Пневматические ковочные молоты (рисунок 86, м) приводятся электродвигателем 13, соединенным муфтой 12 с редуктором 11, уменьшающим скорость вращения и увеличивающим вращающий момент на кривошипе 15, приводящем в движение шатун 14 и поршень 8 компрессорного цилиндра 9. При перемещении поршня 8 поочередно в верхней и нижней полостях компрессорного цилиндра 9

воздух сжимается до 0,2 - 0,3 МПа и при открывании г помощью педали золотников (кранов) б или 7 подается в рабочий цилиндр 5, поршень которого 4 на конце массивного штока несет верхний боек 3. В результате падающие части 5 и 4 перемещаются вниз-вверх и наносят удары по заготовке, лежащей на нижнем бойке 2, закрепленном на массивном шаботе 1. Масса шабота ковочных молотов в 10 - 15 раз больше массы падающих частей. Чем больше масса шабота, тем выше КПД. Все части объединены в единое целое станиной 10. Эти молоты могут: наносить единичные и автоматические удары регулируемой энергии, осуществлять прижим поковки к нижнему бойку (например, для гибки и скручивания); держать боек 3 на весу и работать на холостом ходу (баба свободно лежит на нижнем бойке). Молоты деформируют металл за счет энергии, накопленной падающими частями к моменту их соударения с заготовкой, пропорциональной массе падающих частей, которая и является энергетической характеристикой этих машин.

Пневматические молоты выпускаются с номинальной массой падающих частей от 50 до 1000 кг (модели МВ4127...М4140А). Область их примененияковка мелких поковок (средняя масса фасонной поковки 20 кг).

Паровоздушные ковочные молоты по принципу действия похожи на пневматические, но приводятся в действие паром или подогретым сжатым воздухом давлением 0,7 - 0,9 МПа, поэтому для их работы на заводе требуется наличие котельной или компрессорной. Современные молоты используют пар не только для подъема бабы, но и для нанесения удара, когда пар подается в поршневую полость цилиндра, т. е. являются молотами двойного действия. По конструкции станины они делятся на арочные (например, 1343А), мостовые (например, М1547) и одностоечные.

Основные детали арочного молота (рисунок 86, н): 1 — шабот; 2 — нижний боек; 3 — верхний боек; 4 — баба (двигается вверх и вниз под действием поршня 7 в направляющих 12); 5 — стойка, 6 — шток; 8 — цилиндр; 9 и 11 — каналы для подачи пара в полости цилиндра; 10 — золотник; 13 — рычаги управления. Удары верхним бойком по заготовке наносятся подручным по сигналам кузнеца-бригадира воздействием на золотники с помощью рычагов. У мостовых молотов расстояние между стойками равно нескольким метрам — для обеспечения доступа к бойкам со всех сторон, чтобы было удобнее манипулировать заготовкой и инструментами. Арочные и мостовые молоты имеют массу падающих частей от 1 до 8 т.

Гидравлические ковочные прессы (рисунок 86, о) являются машинами статического действия, они характеризуются величиной развиваемого усилия. Усилие создается с помощью водной эмульсии или минерального масла, подаваемых в рабочий цилиндр 6 под давлением 20—30 МПа. Плунжер 5 передает усилие подвижной поперечине 4, несущей верхний боек 2 и перемещающейся по колоннам 3. Нижний боек 1 устанавливается на нижней неподвижной поперечине 12, которая колоннами 3 соединена с верхней неподвижной поперечиной 10, несущей рабочий цилиндр. Подъем подвижной поперечины вверх осуществляется подачей рабочей жидкости в возвратные цилиндры 9, плунжеры 8 которых посредством верхней поперечины 7 и тяг 11 поднимают подвижную поперечину. У современных ковочных прессов нижний боек устанавливается на выдвигном столе, что значительно упрощает смену инструмента.

В России строят ковочные прессы усилием 5—125 МН. Область их применения — изготовление крупных поковок в основном из слитков. Пример маркировки: ПБ1341 (для прессы усилием 12,5 МН). Масса заготовки при ковке может достигать 400 т, поэтому исключительно важна комплексная механизация и автоматизация процессаковки для исключения тяжелого труда, повышения производительности и точностиковки. Рассмотрим основные средства механизацииковки.

Ковочные мостовые краны имеют две тележки; главная предназначена для манипулирования изделием (подача слитка под пресс, кантование его в процессековки); вспомогательная - для переноса инструмента и поддержки концов заготовки в процессековки.

Ковочные поворотные краны применяют для обслуживания молотов с массой падающих частей 0,5 т и выше: для загрузки печей, подачи заготовок от печи к молоту, манипулирования заготовкой в процессековки, удаления поковки от молота. Для передачи заготовок и поковок применяют разнообразные склизы и конвейеры. Посадочные машины подают заготовки к печи, загружают их в печь, выдают их из печи к прессу.

Ковочные манипуляторы зажимают заготовку клещами, перемещают ее, вращают в горизонтальной плоскости (кантуют) и поднимают ее. Манипуляторы для инструмента подносят и удерживают инструменты в процессековки.

Кантователи подвесные (на подъемном кране) и напольные применяют для поворота поковки относительно горизонтальной оси (кантовки) при отсутствии или недостаточной грузоподъемности манипулятора.

Столы подъемно-поворотные применяют для обеспечения захвата и перехвата заготовки манипулятором. Из печи заготовки укладывают на стол, находящийся на уровне пола. После подъема стола заготовка может быть захвачена манипулятором. Для перехвата заготовки манипулятор кладет ее на стол, который поворачивают на 180°, после чего манипулятор берет заготовку за другой конец.

Клинозабивные машины подвешиваются на подъемном кране с помощью сжатого воздуха забивают и выбивают клинья, крепящие бойки.

Ковочные комплексы служат для комплексной механизации и автоматизацииковки. Ковочный комплекс АКМ1343А.1 содержит молот и манипулятор, управляемые одним оператором. Комплекс АКПА1235-1 содержит гидравлический ковочный пресс. Перемещение заготовки в печь, подача ее на стол прессы, манипулирование ею в процессековки, подача инструмента трехпозиционным карусельным столом, подача вспомогательного инструмента из магазина механической рукой и дистанционное управление сменой верхнего бойка — автоматизированы. Имеется система программного управления. Ковочные комплексы с программным управлением от перфоленты на базе гидравлических прессов с нижним расположением цилиндров, например АКП1035.Ф2.01 (автоматизированный комплекс на базе прессы П1035 с программным управлением), обеспечивают подачу нагретой заготовки под клещи манипулятора, манипулирование заготовкой. Продольный и поперечный инструментальные столы и быстродействующий дистанционно управляемый механизм крепления верхнего бойка обеспечивают быструю смену инструмента. Точность остановки инструмента под нагрузкой составляет $\pm(1-2)$ мм и зависит от усилия прессы.

11.4 Оборудование для листовой штамповки

При листовой штамповке (рисунок 87, 1 — изделие, 2 — отход) выполняются:

- *разделительные операции*: а — отрезка заготовок от листа или полосы; б — разрезка деталей на части; в — вырубка деталей; г — пробивка отверстий в деталях; д — обрезка фланца колпачков, полученных вытяжкой; е — надрезка; ж — зачистка.

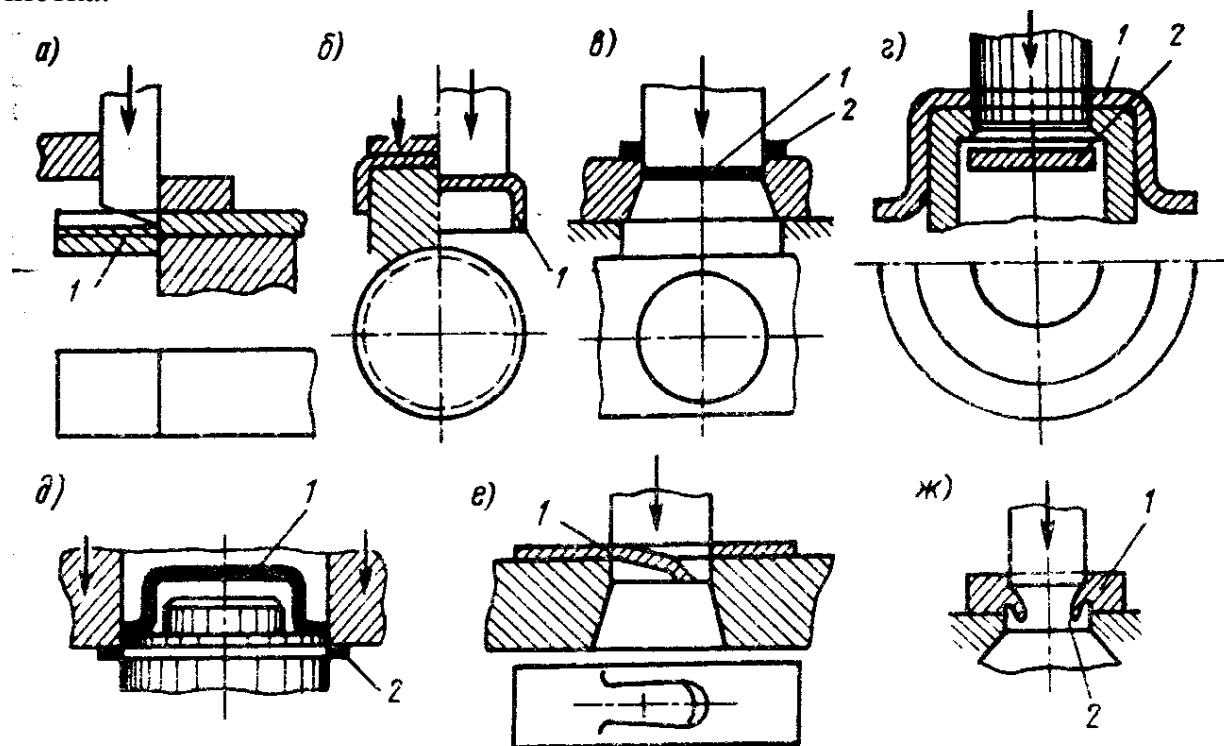


Рисунок 87 - Разделительные операции листовой штамповки

- *формоизменяющие операции* (рисунок 88): а—гибка; б—вытяжка без утонения стенки, заключающаяся в свертке стаканчика 1 из плоской заготовки (первая операция вытяжки) и последующем уменьшении диаметра стаканчика, если это нужно (последующие операции вытяжки); в — отбортовка, заключающаяся в образовании борта 1 в отверстии; г — завивка краев 1 (кастрюль, мисок и др.); д — вытяжка с утонением стенки от S_0 до S_1 ; е — раздача (получение раструбов 1), ж — обжим (образование горловин 1); з — рельефная формовка (образование ребер жесткости 1 и других элементов за счет местного утонения материала).

Для выполнения операций листовой штамповки (а также обрезки заусенца после горячей штамповки) выпускаются кривошипные прессы, составляющие подавляющую часть оборудования цехов листовой штамповки, где могут применяться также электромагнитные, гидравлические, пневматические и винтовые прессы.

В зависимости от числа ползун *кривошипные прессы* могут быть: простого (один ползун), двойного (два ползуна), тройного (три ползуна) действия, по числу кривошипов, приводящих в действие ползун: однокривошипные, двухкривошипные, четырехкривошипные.

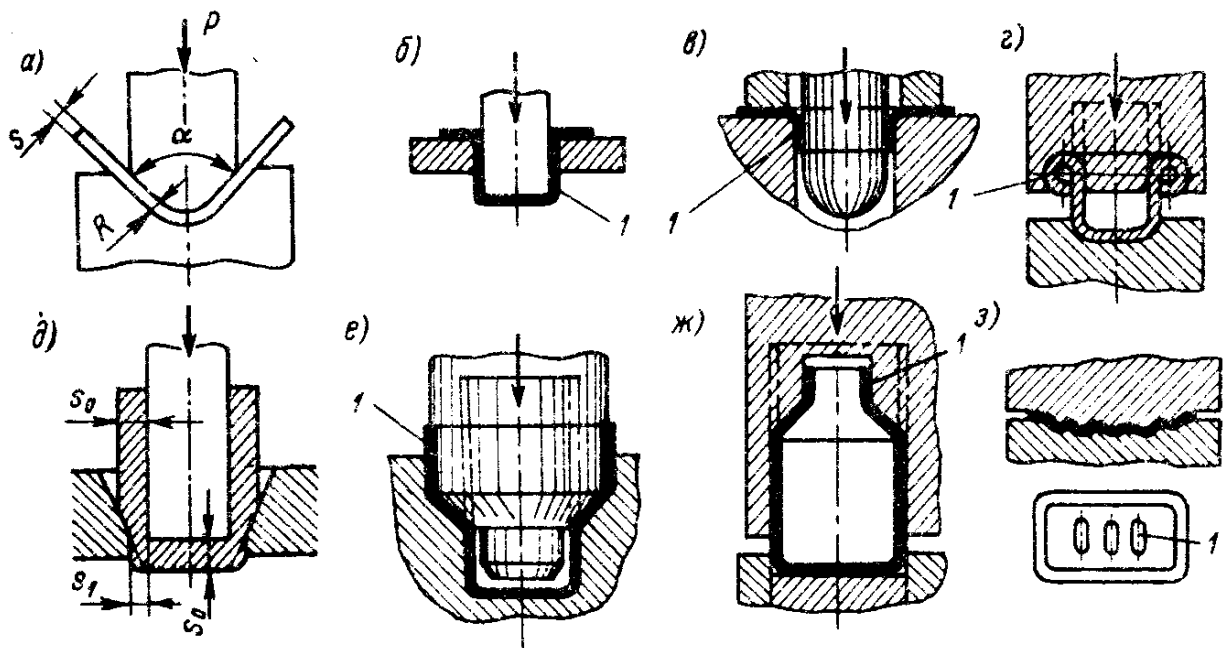


Рисунок 88 - Формоизменяющие операции листовой штамповки

Прессы (рисунок 89) могут быть наклоняемыми (а) и ненаклоняемыми (б). Здесь обозначены: 1 — стол, 2 — ползун, 3 — планка выталкивателя, 4 — наклоняемая часть. Наклон прессы при работе на штампе с выталкивателем позволяет удалить изделие из штампа в тару скольжением по наклонной плоскости под действием веса. Стол ненаклоняемых прессов может быть неподвижным и подвижным. Последний позволяет устанавливать на прессе штампы разной высоты без применения подкладных плит. У наклоняемых прессов столы неподвижные. У открытых прессов (рисунок 89,а) доступ в рабочую зону возможен с трех сторон (спереди, справа, слева), что создает удобства в эксплуатации и оснащении прессов средствами автоматизации и позволяет производить на них штамповку из рулонной, полосовой и штучной заготовок, У закрытых прессов (рисунок 89,б). обладающих повышенной жесткостью, доступ в рабочую зону возможен спереди и сзади, однако в боковых стойках часто выполняются окна 5 для работы с автоматической подачей ленты. У одностоечных прессов станина выполнена в виде единой стойки, у двустоечных (рисунок 89, б) между стойками имеется пространство, через которое могут удаляться изделия и отходы.

Однокривошипные прессы имеют усилие до 25МН и применяются при штамповке некрупных деталей, когда не может возникнуть больших эксцентричных (по отношению к ползуну) нагрузок.

Двухкривошипные прессы простого действия — двустоечные. Они могут быть открытыми (усилием до 2,5 МН) и закрытыми (усилием до 40 МН), ненаклоняемыми и наклоняемыми, но всегда с неподвижным столом. Они применяются при штамповке средних по величине деталей для более равномерного распределения нагрузки во избежание возникновения больших опрокидывающих моментов. Четырехкривошипные прессы простого действия, ненаклоняемые, с неподвижным столом усилием до 63 МН применяются при штамповке крупногабаритных деталей.

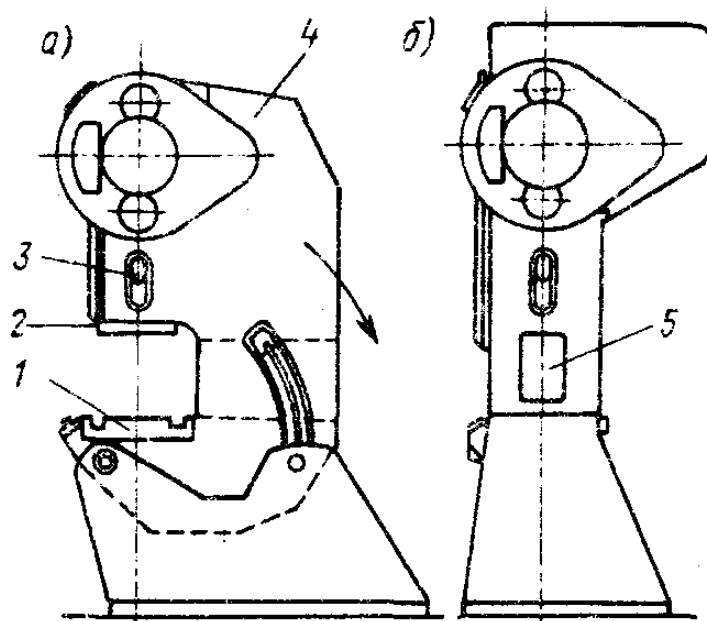


Рисунок 89 - Кривошипные прессы для холодной штамповки

Прессы закрытые *двойного* действия могут быть однокривошипными (с усилием главного ползуна до 6,3 МН, прижимного — до 4,0 МН), двухкривошипными (с усилием 6,3 МН и 6,3 МН соответственно) и четырехкривошипными (усилием 10/6,3 МН) и применяются для глубокой вытяжки с прижимом. При работе этих прессов (рисунок 90) под действием кулачков 4 сначала опускается наружный ползун 3, обеспечивая прижим заготовки, а затем внутренний ползун 2 осуществляет вытяжку колпачка 1. Прижим препятствует образованию складок при вытяжке изделий с тонкими стенками под действием сжимающих тангенциальных (направленных по окружностям) напряжений.

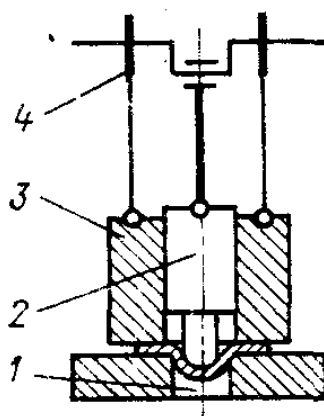


Рисунок 90 - Схема прессы двойного действия

Прессы *тройного* действия позволяют получать сложные детали, требующие обратной вытяжки.

Кривошипные прессы для листовой штамповки имеют верхние выталкиватели, работающие от упоров. Выталкивание из нижней части штампа может производиться подушками (гидравлическими и пневматическими ци-

линдрами) или выталкивателями, предусмотренными конструкцией штампа. У некоторых крупных прессов для облегчения смены штампов подштамповая плита может быть выдвижной.

Штампы для листовой штамповки (рисунок 91) состоят из блоков и пакетов. Блоки включают: нижнюю 1 и верхнюю 2 плиты, направляющие колонки 13 и втулки 14, не позволяющие пуансонам вырубному 4 и пробивному 5 смещаться относительно матриц 10. Пуансоны крепятся пуансонодержателем 6 к верхней плите, которая хвостовиком 3 вставляется в ползун пресса и прихватами прижимается к нему. Между пуансонами и плитой 2 часто ставится казенная прокладка во избежание смятия плиты при больших усилиях на пуансонах. Матрицы закреплены матрицедержателем 9. Боковое смещение заготовки 6 ограничивается направляющими планками 12. Заготовка (полоса) стаскивается с пуансона при его обратном ходе (вверх.) жестким (в данном случае) съемником 7. Шаг подачи полосы выдерживается за счет неподвижного упора 11 (в данном случае).

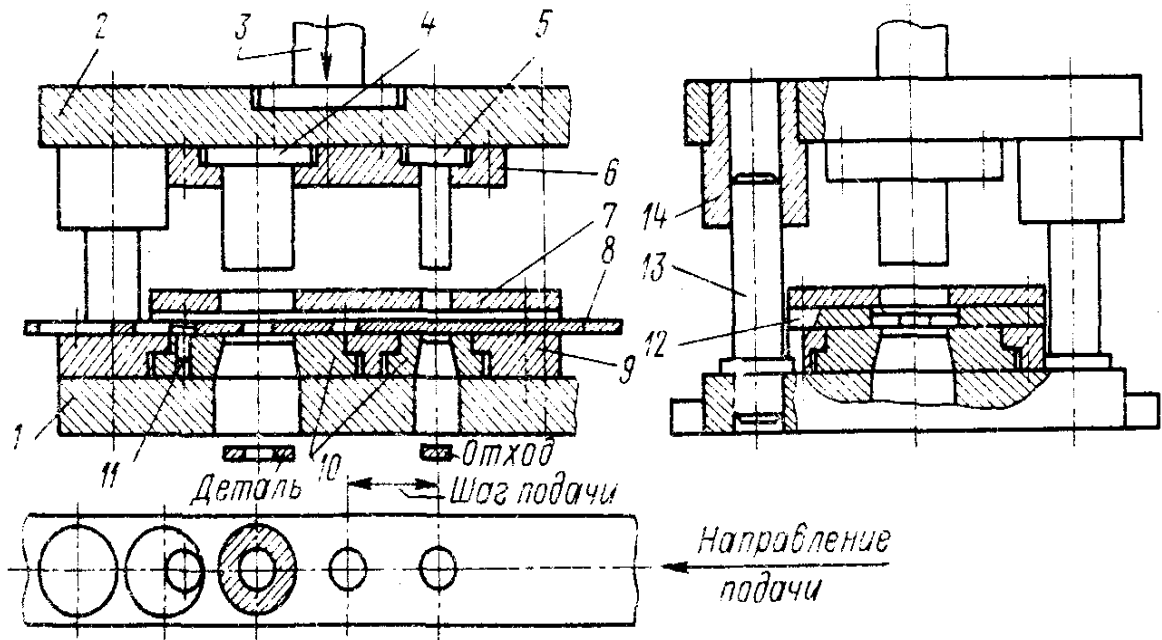


Рисунок 91 - Штамп для холодной штамповки

В рассмотренном комбинированном *последовательном* штампе с ручной подачей последовательно выполняются пробивка отверстия и вырубка шайбы (комбинация пробивки к вырубке).

Совмещенные штампы позволяют добиться высокой точности относительного расположения внутреннего и наружного контура так как операции штамповки в них выполняются на одной позиции, что обуславливает большую их сложность по сравнению с последовательными.

Простые штампы служат для выполнения одной операции, по которой они и называются: вырубные, гибочные, вытяжные.

Блоки штампов (рисунок 92) бывают: с задним (а), диагональным (б) и осевым (г) расположением колонок, а также многоколонные (в); первые три

стандартизованы. Также стандартизованы заготовки деталей пакетов (д), включающих матрицу, планки направляющие, съемник, пуансон, пуансонодержатель, прокладку.

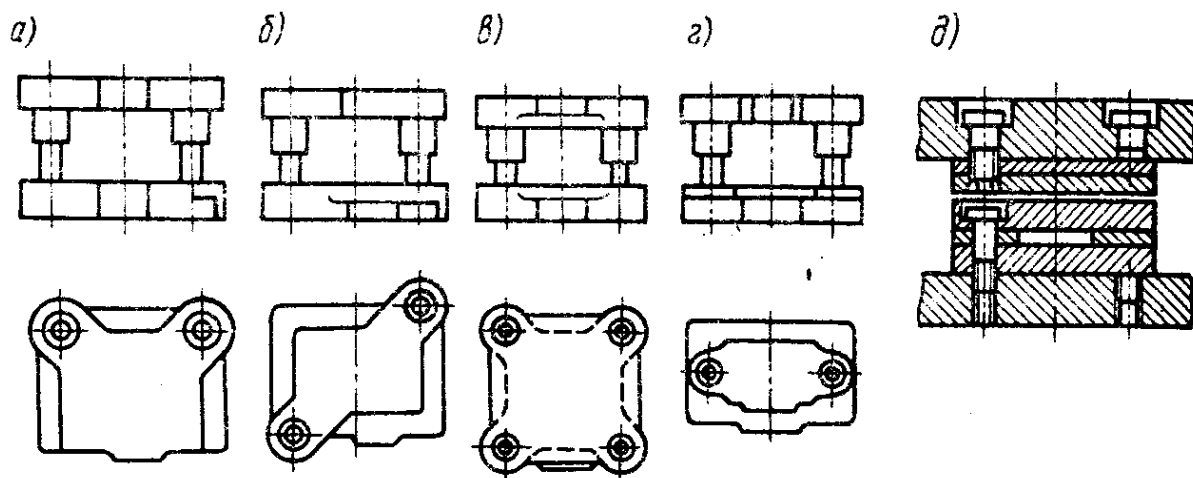


Рисунок 92 - Типы блоков

В настоящее время заводы-изготовители поставляют оборудование в виде комплексов, позволяющих механизировать и автоматизировать процесс изготовления деталей. Большинство комплексов штамповки из рулонного материала (рисунок 93, а) содержат устройства: разматывающее 1 и правильное 2, а также подачу в данном случае *валковую*, двустороннюю. Здесь материал подается за счет сил трения его о нижние приводные валки 7, связанные тягой 9. Приводные валки получают движение при ходе ползуна пресса вверх от кривошипного вала 5 через шатун 4 с регулировочной гайкой 3. Для предотвращения проскальзывания материал прижимается к приводным валкам верхними холостыми валками посредством регулируемых пружин 6. В момент штамповки материал освобождается от прижима устройством 8, действующим от ползуна пресса. При ходе ползуна пресса и шатуна 4 вниз обратное вращение валкам не передается благодаря встроенным в них обгонным муфтам. Выпускаемые валковые подачи ВП38...ВП40, ВП250/10А, ВП400/12А обеспечивают подачу ленты толщиной до 12 мм и шириной до 400 мм, с точностью от $\pm 0,25$ до $\pm 0,65$ мм.

Имеется также много других видов подач. Так, подача *клещевая* КП800 применяется в комплексах штамповки из ленты шириной от 150 до 800 и толщиной от 0,5 до 3 мм. Подача *шаговая* ПШ6 используется для подачи полос, нарезанных из листа в штамповочных комплексах совместно с полосоподавателем.

Крючковые подачи (рисунок 93, б) перемещают материал 6 крючком 2 за переемычки, оставшиеся после вырубki. При ходе вверх ползун пресса 5 за рычаг 4 поворачивает рычаг 7 на кронштейне 1 и крючок 2 протягивает материал на шаг подачи влево. При рабочем ходе ползуна вниз крючок движется вправо и перескакивает за следующую переемычку, преодолевая усилие пружины 3. Имеются и другие виды подач.

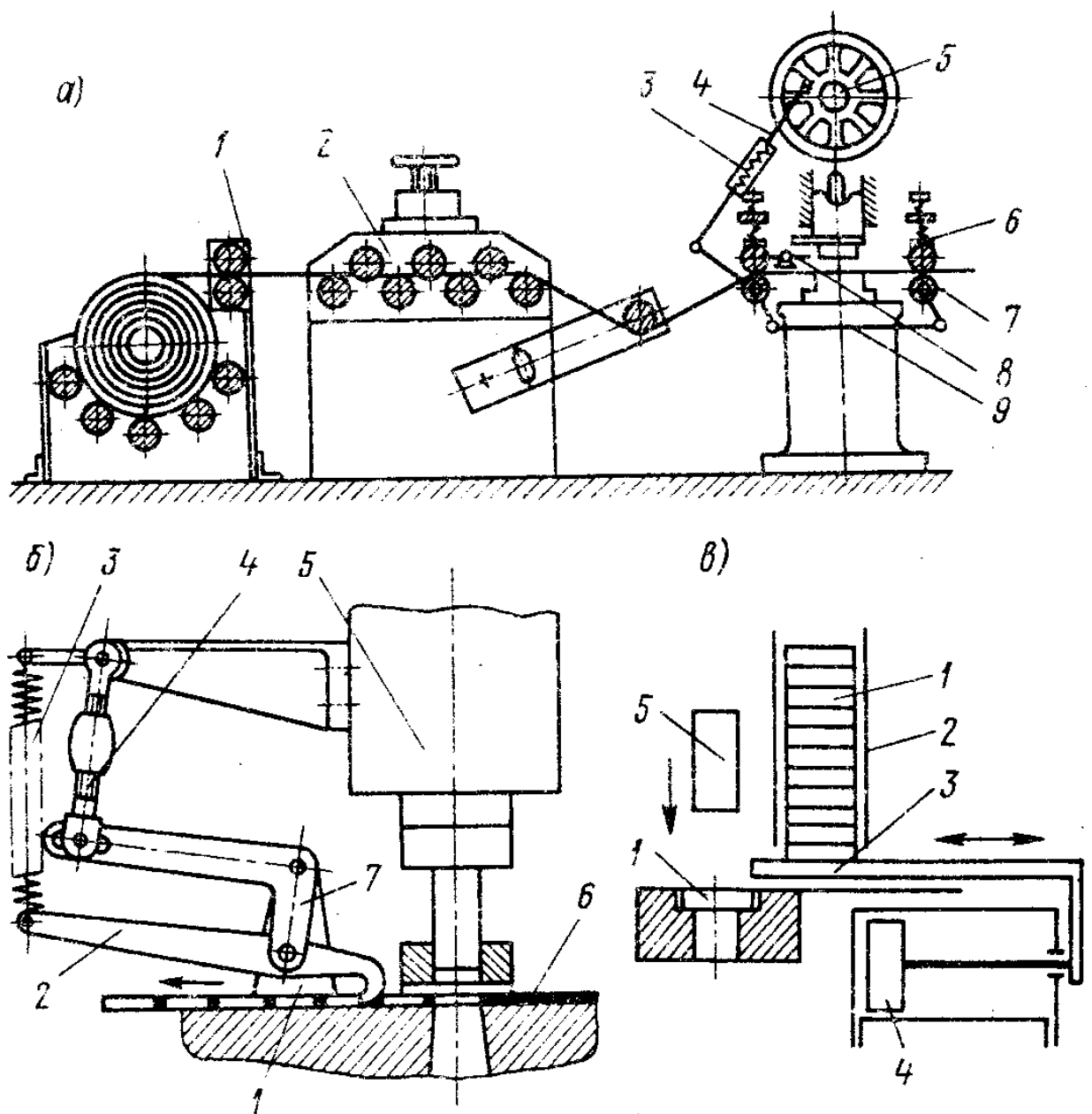


Рисунок 93 - Автоматические подачи

При штамповке из штучной заготовки также применяются подачи разных видов. Так, питатели *шиберные* ПШ1 и ПШ2 (рисунок 93, в) подают заготовки 1 под пуансон 5 из магазина 2 шибером 5, приводимым пневмоцилиндром 4. Наибольший ход шибера 100 и 250 мм соответственно.

Участки роботизированные (РТУ) на базе двух кривошипных прессов предназначены для двухпереходной листовой штамповки. Содержат прессы, манипулятор, магазин или питатель.

Комплексы для штамповки из полосы и листа обеспечивают подачу пакета полос в полосоподаватель, подачу полосы с заданным шагом в рабочую зону прессы, резку отходов на части, удобные для утилизации, сбор отходов и изделий в тару. При наличии ЧПУ обеспечивается автоматическое позиционирование полосы при подаче по двум координатам в горизонтальной плоскости.

Автоматизированный комплекс обычно состоит из прессы; системы автоматической загрузки заготовок и удаления изделий; системы автоматизированной смены штампов с быстродействующими устройствами для их крепления; стеллажей для комплектования смены штампов и системы управления комплексом. В частности, переналадка штампов может осуществляться сменой пакетов, которые заранее монтируются на специальных плитах, вдвигаются в блок (вручную или механизмами), где фиксируются и закрепляются быстродействующими зажимами.

Автоматы листоштамповочные многопозиционные АА6124А...АБ6140 (последний с номинальным усилием 10 МН) предназначены для последовательной многопереходной штамповки изделий из металлической рулонной ленты с автоматическим переносом штампуемой детали с позиции на позицию. Производительность их от 12 (для крупных автоматов) до 150 шт./мин (для мелких).

Автоматы листоштамповочные с *нижним приводом* АВ6224...АГ6230 (последний усилием 1 МН) производят многопереходную штамповку деталей в ленте с отделением готового изделия на последней позиции штамповки. Их производительность от 80 до 800 шт./мин. Автоматы этих двух типов кривошипные.

Прессы-автоматы гидравлические (тройного действия) *для чистовой вырубки* А6826А ... А6838А предназначены для изготовления деталей за один рабочий ход прессы с параметром шероховатости поверхности контура детали $Ra = 1,25$ и точностью размеров 7—11-го квалитетов. Обычная вырубка дает 10—13-й квалитет и $Rz = 80$.

В индивидуальном и серийном производстве деталей из листа применяется *поэлементная штамповка*, сущность которой такова: контур детали расчленяется на элементы - прямые отрезки, дуги 90° и 180° , отверстия, пазы, колена и др., которые штампуются последовательно на универсальных штампах, установленных на закрепленных за ними прессах. Основной набор включает следующие штампы: для отрезки по прямой и вырезки угла; для скругления дугой 90° с разными радиусами; то же дугой 180° , для пробивки отверстий; для пробивки пазов; универсальный гибочный. Набор при необходимости может быть дополнен другими штампами. Так, квадратная деталь со скругленными углами может быть получена резкой по прямой и последующей обрезкой прямых углов по дуге 90° за четыре хода прессы. Поэлементная штамповка проводится по типовым технологическим процессам и требует продуманной нормализации размеров элементов.

Для поэлементной штамповки созданы специальные прессы номинальным усилием 160 кН моделей К0822, КА0822, КБ0822, КВ0822, оборудованные столами с регулируемыми упорами, держателями инструмента и быстро съемным инструментом, требующим в процессе эксплуатации замены только отдельных изношенных элементов.

Револьверные прессы имеют револьверную головку с 24 - 32 комплектами матриц и пуансонов для пробивки отверстий и пазов разных форм и размеров при изготовлении плоских деталей типа панелей и шасси радио-

электронной аппаратуры в серийном и единичном производстве. Отсчет координат производится вручную: при помощи микроскопов или по шаблону (модель К0120), а также автоматически - при помощи системы ЧПУ (например, у модели К0126Ф4). Точность координат около $\pm 0,15$ мм.

Вырезка деталей и отверстий сложного профиля а единичном и мелко-серийном производстве может производиться на *лазерных* установках, оснащенных штамповочной головкой, в которую из магазина автоматически устанавливаются сменные пакеты. Заготовка перемещается по программе.

11.5 Гибочное оборудование

В машиностроении широкое применение находят детали, изготовленные гибкой листов, полос, проволоки, труб, профилей. Широко применяется гибка в штампах на прессах.

Автоматы универсально-гибочные АА7209...А7218 применяются в массовом производстве не очень больших деталей (диаметр проволоки до 8 мм, наибольшая ширина ленты до 100 мм — для модели А7219). Производительность их до 400 деталей в минуту (АА7209). Такие автоматы имеют механизм подачи клещевого типа, механизм штамповки - кривошипный пресс для вырубки, пробивки, неглубокой вытяжки и несколько гибочных ползунов, расположенных радиально и приводимых в движение кулачками. Автоматы комплектуются разматывающим устройством, а также устройствами поперечной подачи, нарезания резьбы, сварки и др. Их работа происходит следующим образом (рисунок 94, а). После вырубки-пробивки заготовка подается к узлу отрезки, отрезается ножом и прижимается к центральной оправке 2, затем изгибается ходом ползуна 1, после чего ползуны 4 и 3 подгибают концы, образуя кольцо. Затем ползуны отходят в исходное положение, а кольцо сбрасывается съемником.

Для изготовления деталей гибкой из листов и полос в серийном и мелкосерийном производстве широко применяются *прессы листогибочные гидравлические ИА1430А...ИА1438А.Ф2*. Последний оснащен ЧПУ (как и некоторые другие модели), размеры его стола 8x0,4 м. Подача листа - вручную и с помощью средств механизации. Схема гибки приведена на рисунок 94, б. При применении специального инструмента на этих прессах можно производить вырубку, пробивку и др. Выпускаются также листогибочные кривошипные прессы, например ИВ 1330.

Машины листогибочные трехвалковые ИБ2212...ИБ2222 позволяют гнуть лист шириной до 2 м и толщиной до 16 мм, а *четырёхвалковые* (рисунок 94, в) ИБ2424... ИБ2426 — шириной до 3,15 м и толщиной до 40 мм. Их применяют для изготовления цилиндрических и конических сосудов, корпусов летательных аппаратов и др. Трехвалковые машины требуют дополнительной операции — подгибки концов листа.

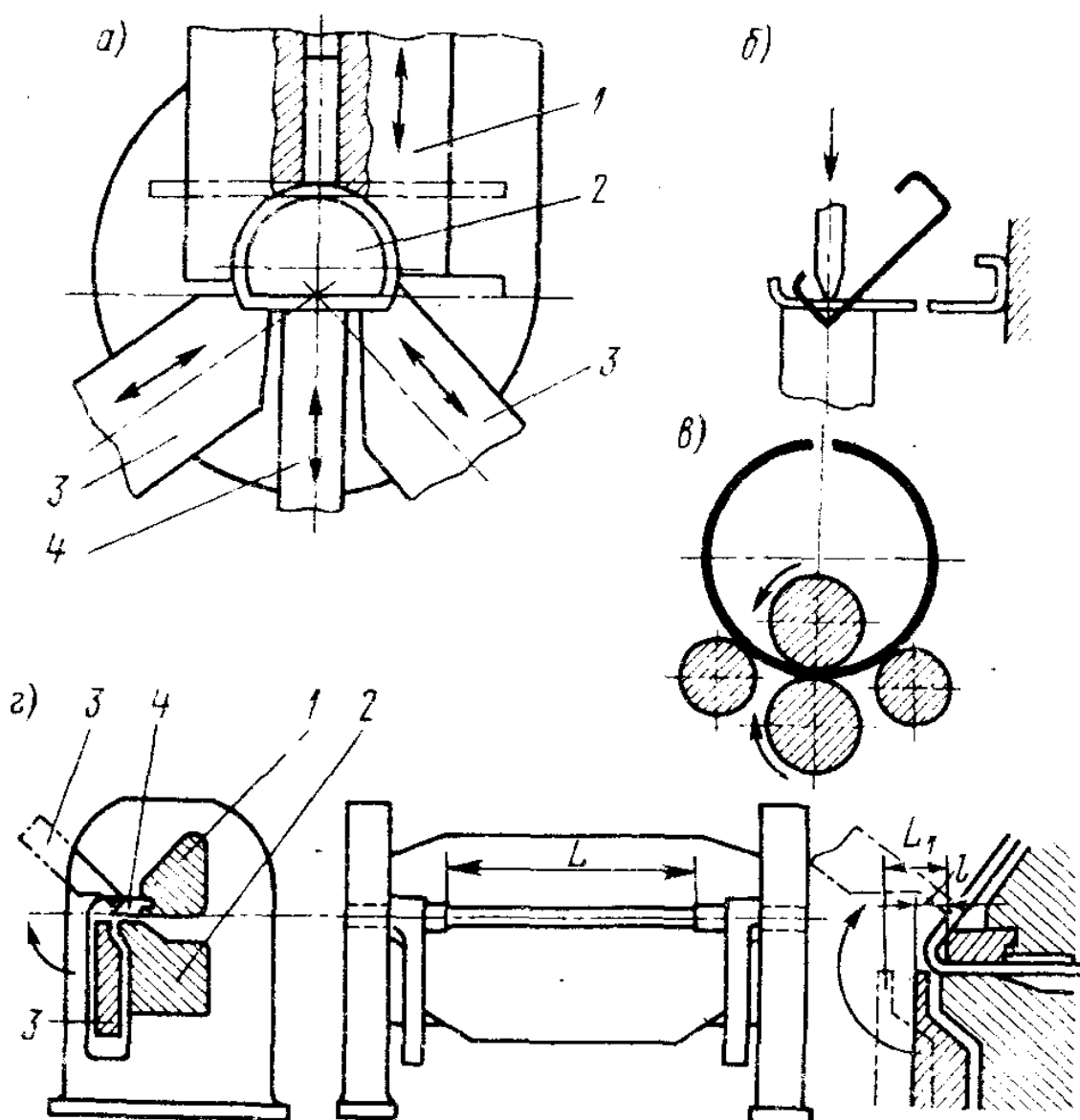


Рисунок 94 - Схемы гибочного оборудования

Начато производство *двухвалковых машин* для гибки листа, например И2314 (для листа 2,5x2000 мм.) и ИО316 (для листа 4x 1250 мм), один из валков которых имеет эластичное полиуретановое покрытие. Здесь гибка происходит

за счет упругой деформации покрытия. Эти машины позволяют за один проход заготовки между валками изготавливать обечайки с малыми радиусами кривизны, с минимальными прямолинейными участками на концах, что обеспечивает получение изделий правильной цилиндрической формы. Для сравнения: при гибке на четырехвалковых машинах требуется несколько проходов заготовки между валками, требуется высокая квалификация рабочего, точность изделия ниже. На базе двухвалковой машины с ЧПУ создан автоматический комплекс АКИ2314П-1.

Машины листогибочные с поворотной балкой ИВ2142 ... ИВ2146 (модели с программным управлением имеют на конце литеру П, а с ЧПУ — Ф2) позволяют работать с листами шириной до 4000 мм и толщиной от 6 до 3,5

мм. Гибка на них производится по шаблонам-линейкам из имеющегося комплекта. Заготовка устанавливается на неподвижной траверсе (столе) 2 (рисунок 94, г), зажимается прижимной траверсой 1 с шаблоном 4, и выступающая часть заготовки изгибается вокруг шаблона поворотом гибочной траверсы 3.

Гибочное оборудование может за дополнительную плату оснащаться рольгангами, приемными столами, приспособлениями, механизмами съема, механизмами поддержки обечаек.

Горизонтально-гибочные машины (бульдозеры) представляют собой горизонтальные двухкривошипные прессы усилием 1—1,6 МН (модели И1230 и И1232) и применяются для гибки с нагревом и без него.

Для прямой и круговой резки, гибки и отбортовки применяются машины *двухроликовые* с горизонтальными шпинделями ИВ2714 и ИВ2716. Для гибки сортового и фасонного проката выпускаются машины роликовые ИБ3129 и ИБ3230. Выпускается также гамма *трубогибочных* машин с механическим и гидравлическим приводом с ПУ и без него, моделей ИВ3428...И3534. Последняя модель позволяет гнуть трубы диаметром до 250 мм и толщиной стенки до 16 мм.

Комплекс автоматический АКП6126.Ф4 на базе прессы гидравлического *правильного* с ЧПУ автоматизирует процесс правки для исправления кривизны валов и осей, образовавшейся послековки, прокатки, термообработки и др. Выпускаются также простые гидравлические правильные прессы для правки валов и осей (например, П6126А, П6242А) и листов (И4344).

Список использованных источников

1. **Бушуев, В.В.** Металлорежущие станки: учебник. В двух томах. / Бушуев В.В., Еремин А.В., Какоило А.А., Макаров В.М. - Издательство "Машиностроение" .
2. Устройство, наладка и обслуживание металлообрабатывающих станков и автоматических линий/ С.Н.Власов, Г.М.Годович, Б.И.Черпаков - М.: Машиностроение, 1983.-324с.
3. **Чернов, Н.Н.** Металлорежущие станки/ Н.Н. Чернов - М.: Машиностроение, 1988.-240с.
4. **Голофтеев, С.А.** Лабораторный практикум по курсу "Металлорежущие станки": учеб. пособие для техникумов/ С.А. Голофтеев - М.: Высш.шк.,1991.-240 с.
5. **Ничков, А.Г.** Фрезерные станки/ А.Г. Ничков - М.: Машиностроение, 1977. -184с.
6. **Барбашев, Ф.А.** Фрезерное дело: Учебное пособие для сред. проф.-тех.училищ. Изд.2-е./ Ф.А. Барбашев-М.:Высшая школа, 1975.- 216с.
7. **Колев, Н.С.** и др. Металлорежущие станки/ Н.С. Колев - М.: Машиностроение, 1980. -486 с.
8. Металлорежущие станки: учебник для машиностроительных вузов. /Под ред. В.Э. Пуша – М. : Машиностроение, 1986. -256 с.
9. **Сысоев, В.И.** Справочник молодого сверловщика/ В.И.Сысоев - М.: Профтехиздат, 1962.- 272с.
10. **Барун, В.А.** Работа на сверлильных станках: учебное пособие для сред.проф.-тех.училищ./ Барун В.А. - М.: Профтехиздат, 1963.- 296с.
11. **Трофимов, А.М.** Металлорежущие станки/ А.М. Трофимов– М.: Машиностроение, 1979.-78с.
12. Станочное оборудование автоматизированных производств: Учебное пособие для вузов: В 2-х томах/ Под ред. В.В. Бушуева - М.: Станкин, 1993.-583с.
13. **Егоров, О.Д.** Механика и конструирование роботов/ О.Д. Егоров - М.: Станкин, 1997. -267с.
14. **Малов, А.Н.** Загрузочные устройства для металлорежущих станков/ А.Н. Малов - М.: Машиностроение, 1972.-387с.
15. **Вайнсон, А.А.** Подъемно-транспортные машины/ Вайнсон А.А. - М.: Машиностроение, 1974.- 297с.
16. **Егоров, В.А.** и др. Транспортно-накопительные системы для ГПС/ Егоров В.А. - М.: Машиностроение, 1989.-264с.
17. **Челпаков, И.Б.** Устройство промышленных роботов.: учебник для техн/ И.Б. Челпаков – М.: Политехника, 2001.- 327с.