



**Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Рубцовский индустриальный институт (филиал)  
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова»**

**В.В. Гриценко**

# **ОБОРУДОВАНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Учебное пособие для студентов бакалавриата, обучающихся  
по направлению подготовки  
«Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
всех форм обучения

*Рекомендовано Рубцовским индустриальным институтом (филиалом)  
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова» в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по направлению подготовки  
«Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»*

Рубцовск 2019

УДК 621.9.06 (075.8)

Гриценко В.В. Оборудование машиностроительных производств: Учебное пособие для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2019. – 111 с.

Предназначено в качестве руководства для студентов направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» как очной, так и заочной форм обучения при проведении лекционных и практических занятий, выполнении курсовой работы и самостоятельной работы.

В пособии приведены общие сведения о металлообрабатывающем производственном оборудовании для массового, серийного и единичного производства, а также методы кинематического расчета приводов скоростей и подач данного оборудования. Дано описание принципов формообразования деталей при их изготовлении на металлорежущих станках; описание различных типов машиностроительного оборудования, а также контрольные вопросы для самостоятельной подготовки студентов к тестированию.

Рассмотрено и одобрено на заседании научно-методического совета Рубцовского индустриального института.  
Протокол № 2 от 09.04.19.

Рецензент:  
декан технического факультета  
РИИ АлтГТУ, к.т.н., доцент

А.В. Шашок

## Содержание

1 КРАТКАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА ОБ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ СТАНКОСТРОЕНИЯ.....	5
2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ.....	7
2.1 Классификация и обозначение станков.....	7
2.2 Основные и вспомогательные движения.....	10
2.3 Понятие о кинематической структуре станков.....	11
2.3.1 Условные графические обозначения в структурных схемах.....	14
2.4 Передача движения в станках и расчетные формулы.....	16
2.4.1 Передачи между параллельными валами.....	17
2.4.2 Зубчатые передачи между пересекающимися и перекрещивающимися валами.....	23
2.4.3 Механизмы, преобразующие движения.....	25
2.5 Приводы станков.....	25
3 МЕХАНИЗМЫ ПРИВОДА СТАНКОВ.....	27
3.1 Механизмы прямолинейного движения.....	27
3.2 Механизмы коробки передач.....	28
3.3 Механизмы для осуществления периодических движений.....	30
3.4 Реверсирующие механизмы.....	34
3.5 Суммирующие механизмы.....	36
3.6 Обгонные механизмы и муфты.....	37
3.7 Типовые механизмы для бесступенчатого изменения скорости движения.....	40
4 МЕТОДИКА АНАЛИЗА И НАСТРОЙКИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ.....	42
4.1 Общая последовательность анализа и настройки металлорежущих станков.....	42
4.2 Анализ и настройка цепи главного движения.....	42
4.3 Анализ и настройка кинематических цепей подачи станка.....	45
5 МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ.....	50
5.1 Расчет и построение кинематической схемы коробки скоростей токарного станка по заданной структурной формуле.....	50
5.2 Построение структурной сетки и графика чисел оборотов.....	51
5.3 Определение передаточных отношений и чисел зубьев зубчатых колёс.....	57
5.4 Построение кинематической схемы коробки скоростей.....	61
6 ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ.....	62
6.1 Методы образования производящих линий.....	63
6.2 Образование поверхностей.....	64
6.3 Классификация движений в станках.....	65

7 СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОБОРУДОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	67
7.1 Станки для обработки тел вращения.....	67
7.1.1 Токарные и токарно-винторезные станки.....	67
7.1.2 Токарно-револьверные станки.....	70
7.1.3 Токарно-карусельные станки.....	71
7.2 Станки для обработки призматических деталей.....	72
7.2.1 Сверлильные станки.....	72
7.2.2 Расточные станки.....	73
7.2.3 Фрезерные станки.....	74
7.3 Станки для абразивной обработки.....	76
7.3.1 Круглошлифовальные станки.....	76
7.3.2 Внутришлифовальные станки.....	76
7.3.3 Бесцентровошлифовальные станки.....	78
7.3.4 Плоскошлифовальные станки.....	79
7.4 Электрофизическая и электрохимическая обработка.....	80
7.4.1 Электрофизические методы обработки.....	81
7.4.2 Электрохимическая обработка (ЭХО).....	83
7.5 Зубообрабатывающие станки.....	84
7.6 Протяжные станки.....	85
ТЕМАТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ТЕСТИРОВАНИЯМ.....	102
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	111

## 1 КРАТКАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА ОБ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ СТАНКОСТРОЕНИЯ

Появление первых станков для обработки материалов резанием относится к XIV веку, и только к XVII веку были созданы все основные типы станков, являющиеся прототипами современных станков [1].

**Первый шаг** в направлении механизации механической обработки на металлорежущих станках (МРС) сделан в период, когда были созданы станки с механическим приводом главного движения за счёт использования энергии падающей воды [1].

**Вторым шагом**, знаменующим собой коренное изменение в конструкции, производительности и точности станков, является использование в качестве источника движения энергии пара, позволившее осуществить групповой привод станков, когда от одного источника (парового двигателя) в движение приводилась целая группа станков [1].

Период XIV - XVII веков характеризуется появлением, в основном, всех прототипов современных станков [1].

**Третий шаг** (XVII-XIX век) - начало механизации обработки на станках [1].

**Четвертый шаг** (XIX-XX век) - автоматизация процесса механической обработки, продолжающаяся до настоящего времени [1].

Автоматизацией предусматривается замена ручного управления производственным процессом или его элементами машинным управлением без участия человека. Этот процесс осуществляется в двух направлениях – создание многопозиционных станков, автоматических линий и заводов, которые применимы в условиях массового производства, и создание гаммы станков с программным управлением, а также станков со следящей системой управления, являющихся основными для использования в условиях индивидуального и серийного производства [1].

Настоятельная потребность в механической обработке сложных по форме заготовок, таких как корпусные, привело к созданию агрегатных станков – станков, собираемых из стандартных, нормализованных деталей, узлов и агрегатов [1].

В начале 50-х годов XX века были разработаны принципы программного управления (ПУ) станками и созданы первые станки программного управления (СПУ), обеспечивающие автоматизацию механической обработки с одновременной возможностью их быстрой переналадки для выполнения разнообразных процессов механической обработки [1].

В настоящее время широко используются многоцелевые станки, так называемые «обрабатывающие центры», которые способны к высокой концентрации операций на одном станке, обладающие большим быстро-

действием и законченным циклом обработки детали. Особенностью таких станков является сочетание ПУ с магазином широкой номенклатуры инструментов, подаваемых в зону резания, в соответствии с технологическим процессом, с помощью манипулятора [1].

Кроме того, все более расширяются работы в области робототехники, обеспечивающие выполнение сложных элементов технологических процессов, требующих ручного труда, в автоматическом режиме. Это направление развития автоматизации позволяет осуществить технологические процессы в сочетании со станками с ПУ без непосредственного участия человека в процессе механической обработки [1].

Таким образом, очень важные и трудоёмкие работы перемещаются из сферы непосредственного производства в область технологического обеспечения, связанного с инженерным трудом.

## 2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

Разнообразные устройства, создаваемые человеком, можно разделить на две большие группы. К первой относятся устройства, части которых не могут совершать движения одна относительно другой; ко второй – такие устройства, части которых находятся в движении одна относительно другой [1].

Устройствами первой группы являются сооружения, ко второй группе относятся механизмы и машины [1].

**Механизмом** называется система соединённых между собой тел, совершающих под действием приложенных к ним сил, определённые, заранее заданные движения [1].

**Машина** – это один или несколько связанных между собой механизмов, предназначенных для преобразования энергии из одного вида в другой (машины-двигатели) или для выполнения полезной механической работы (машины-орудия) [1].

**Машины-двигатели** – электрические машины (преобразуют электрическую энергию в механическую); двигатели внутреннего сгорания (преобразуют химическую энергию в механическую); гидравлические турбины (преобразуют механическую энергию движущейся жидкой среды в механическую энергию вращающегося вала турбины) [1].

**Машины-орудия** иначе называют технологическими машинами – это сельскохозяйственные машины, молоты, прессы, прокатные станы, металлорежущие станки. К машинам-орудиям относятся также **транспортные машины** – автомобили, конвейеры, насосы, лифты. Технологические машины преобразуют (обрабатывают) материалы, а транспортные их перемещают [1].

### 2.1 Классификация и обозначение станков

**Металлообрабатывающий станок** – машина, предназначенная для обработки металлических заготовок в целях образования заданных поверхностей путём снятия стружки. Обработка производится преимущественно путём резания лезвийными или абразивными инструментами. Также распространены станки для обработки заготовок электрофизическими и электрохимическими методами. Станки применяют также для выглаживания поверхностей детали. Металлообрабатывающие станки допускают резание неметаллических материалов, например, текстолита, капрона, дерева и др. Специальные станки обрабатывают также керамику, стекло и другие материалы [1].

Совокупность всех типов и размеров станков, выпускаемых и планируемых к выпуску называется **типажом** [1].

По характеру выполняемых работ и применяемому режущему инструменту МРС подразделяются на 9 групп, которые в свою очередь разбиваются на отдельные типы станков (таблица 2.1) [1].

**Модель станка** обозначают тремя или четырьмя (иногда с добавлением букв) цифрами. Первая цифра указывает на группу станка, вторая – тип, последние одна или две цифры указывают на один из характерных его размеров.

Буква между цифрами указывает на модернизацию станка, а буква после всех цифр – модификацию (видоизменение) базовой модели станка или его технологические особенности (например, повышенной точности, причём при нормальной точности букву в шифре не проставляют) [1].

Например, станок 2Н135: цифра 2 означает, что станок относится ко второй группе – сверлильно-расточной; Н – модернизированный (или шифр завода-изготовителя); цифра 1 указывает на принадлежность к первому типу (вертикально-сверлильный); последние две цифры означают максимальный диаметр сверления (35 мм) [1].

Буква «Ф» в шифре говорит о том, что станок имеет числовое программное управление (ЧПУ), а цифра за ней указывает на то, какая система ПУ применена. Модель станка 16К20Ф3 расшифровывается так: станок токарно-винторезный с высотой центров над станиной – 200 мм; Ф3 означает, что станок оснащен контурной системой ПУ. Могут быть, также станки с цифровой индикацией и предварительным набором координат – Ф1 или с позиционной системой управления – Ф2 [1].

По степени специализации станки бывают:

- универсальные, выполняющие различные переходы при обработке разнообразных деталей;
- специализированные, обрабатывающие детали сходные по конфигурации, но имеющие различные размеры, например, ступенчатые валики, кольца подшипников качения и т.п.;
- специальные, предназначенные для обработки одной определённой детали только одного типоразмера, например, лопаток турбин [1].

Таблица 2.1 – Классификация металлорежущих станков

Станки	Группа	Тип			
		1	2	3	4
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы		Револьверные	Сверлильно-отрезные
		одношпиндельные	многошпиндельные		
Сверлильные и расточные	2	Вертикально-сверлильные	Полуавтоматы		Координатно-расточные
			одношпиндельные	многошпиндельные	
Шлифовальные и доводочные	3	Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочные шлифовальные	Специализированные
Комбинированные электро-физико-химические	4	Универсальные	Полуавтоматы	Автоматы	Электрофизические
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	Зубодолбежные для цилиндрических колес	Зубонарезные для конических колес	Зубофрезерные	
				для цилиндрических колес	для червячных колес
Фрезерные	6	Вертикально-фрезерные консольные	Фрезерные непрерывного действия	-	Копировальные и гравировальные
Строгальные, долбежные и протяжные	7	Продольные		Поперечно-строгальные	Долбежные
		одностоечные	двухстоечные		
Разрезные	8	Отрезные, работающие			Правильно-отрезные
		кругом	токарным резцом	абразивным кругом	
Разные	9	Муфто- и трубообрабатывающие	Пилонасекальные	Правильно- и бесцентрово-обдирочные	



Продолжение таблицы 2.1

Станки	Группа	Тип				
		5	6	7	8	9
Токарные	1	Карусельные	Токарные и лобовые	Многорезцовые	Специализированные	Разные токарные
Сверлильные и расточные	2	Радиально-сверлильные	Расточные	Алмазно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные
Шлифовальные и доводочные	3	-	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные и полировальные	Разные станки, работающие абразивом
Комбинированные электрофизико-химические	4	Электроискровые	-	Электроэрозионные, ультразвуковые	Анодно-механические	-
Зубо- и резьбо-обрабатывающие	5	Для обработки торцов зубьев	Резьбофрезерные	Зубоотделочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие
Фрезерные	6	Вертикальные	Продольные	Широкоуниверсальные	Горизонтальные	Разные фрезерные
Строгальные, долбежные и протяжные	7	Протяжные горизонтальные	-	Протяжные вертикальные	-	Разные строгальные
Разрезные	8	Ленточные	Дисковые пилы	Ножовочные	-	-
Разные	9	Для испытания	Делительные машины	-	-	-

В последние годы получили распространение станки, на которых выполняются различные операции в результате автоматической смены режущих инструментов. Подобные станки получили название *многоцелевых станков* или «обрабатывающих центров» [1].

*Гибкие производственные модули (ГПМ)* представляют собой автоматизированную универсальную технологическую систему, в основе которой находится станок с полным набором манипуляторов, контрольных и измерительных устройств [1].

Модели специализированных и специальных станков обозначают одной или двумя буквами, к которым добавляют также цифры, указывающие порядковый номер модели станка. Например, Московский станкостроительный завод «Красный пролетарий» имеет индекс «МК», Горьковский завод фрезерных станков – «ГФ», Витебский завод заточных станков – «ВЗ» и т.д. Например: ВЗ-247 [1].

По степени точности различают станки пяти классов. Класс Н – станки нормальной точности. Класс П – станки повышенной точности. Класс В – станки высокой точности. Класс Л – станки особо высокой точности. При их изготовлении предъявляют ещё более жёсткие требования, чем при изготовлении станков класса В. Класс С – станки особо точные или мастер – станки, предназначенные для изготовления деталей, определяющие точность станков классов П и В [1].

По массе различают станки лёгкие (до 1 т), средние (до 10 т) и тяжелые (свыше 10 т). Тяжёлые, в свою очередь, делятся на крупные (10 – 30 т), собственно тяжелые (30 – 100 т) и особо тяжёлые или уникальные (более 100 т) [1].

## 2.2 Основные и вспомогательные движения

Движения МРС разделяются на основные (рабочие) и вспомогательные. К основным движениям относят главное движение резания или главное движение и движение подачи.

**Главным движением** называют – прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания. При вращательном движении оно характеризуется частотой вращения ( $n$ , мин<sup>-1</sup>) [1]

$$n = \frac{1000V}{\pi D}, \quad (2.1)$$

а при поступательном движении – частотой двойных ходов в мин. ( $n_{\text{дв.х./мин.}}$ ) [1]:

$$n_{\text{дв.х./мин.}} = \frac{1000V}{2L}, \quad (2.2)$$

где  $V$  – скорость резания, м/мин.;  $D$  – диаметр заготовки, мм;  $L = l + l_1 + l_2$  – длина хода, мм;  $l$  – длина заготовки, мм;  $l_1, l_2$  – врезание и сбег резца, соответственно, мм.

В некоторых станках главное движение получается в результате одновременного вращения заготовки и инструмента, например, при сверлении отверстий малого диаметра на токарных многошпиндельных автоматах [1].

**Движение подачи** – относительное движение инструмента вдоль обрабатываемой поверхности со скоростью, обеспечивающей (совместно с главным движением) формообразование детали. Подачу определяют как величину перемещения инструмента относительно детали при обработке за один оборот (двойной ход) детали или инструмента или перемещение в единицу времени [1].

**Вспомогательные движения** необходимы для подготовки процесса резания, обеспечения последовательной обработки нескольких поверхностей на одной заготовке или одинаковых поверхностей на различных заготовках. К вспомогательным относят движения [1]:

- для наладки станки на заданные режимы резания;
- для наладки станка в соответствии с размерами и конфигурацией заготовки;
- управления станком в процессе работы;
- соответствующих рабочих органов для подачи и зажима прутка или штучных заготовок;
- для закрепления заготовки и освобождения рабочих органов станка.

Вспомогательные движения можно выполнять как автоматически, так и вручную. В станках-автоматах все вспомогательные движения автоматизированы, их выполняют механизмы станка в определённые моменты времени в соответствии с технологическим процессом обработки детали [1].

## 2.3 Понятие о кинематической структуре станков

Основой конструкции любого металлорежущего станка является его **кинематическая структура**, которая представляет собой совокупность рабочих органов, источников движения и кинематических связей между ними, обеспечивающих движения, необходимые для формообразования поверхностей.

Кинематическая структура станка состоит из различных механизмов. Элементы, входящие в механизм, называются **звеньями**. В любом механизме есть подвижные и неподвижные звенья. Звено, движение которому сообщается приложением внешних сил, называется **ведущим**, а звено, которому движение передается от ведущего, называется **ведомым**. Подвижное соединение двух звеньев в механизмах называется **кинематической парой** [1]

При изображении механизмов и их составных частей – звеньев и кинематических пар – пользуются стандартными условными обозначениями (ГОСТ 2.770).

Для выполнения полезной работы машиной-орудием, как правило, угловые скорости валов механизмов должны быть значительно ниже, чем скорости валов двигателей, но в то же время требуются большие вращающие моменты. Поэтому в большинстве случаев непосредственная связь валов двигателей и рабочей машины невозможна и между ними необходимо расположить механизм, называемый **механической передачей**.

Механические передачи классифицируются:

– по взаимному расположению ведущего и ведомого валов в пространстве – передачи между параллельными валами, между пересекающимися валами, между скрещивающимися валами;

– по принципу осуществления передачи движения – передачи трением, передачи зацеплением;

– по способу контакта между ведущим и ведомым звеньями – передачи с непосредственным касанием, передачи с гибкой связью.

Важнейшей характеристикой любой передачи является **передаточное отношение  $u$** , которое равно отношению угловой скорости (или частоты вращения) ведущего вала к угловой скорости (или частоте вращения) ведомого вала [1]:

$$u_{1-2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}, \quad (2.3)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – частоты вращения ведущего и ведомого валов соответственно;  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – угловые скорости ведущего и ведомого валов соответственно.

Часто для характеристики передачи пользуются лишь одной величиной – **передаточным числом  $u'$** , которым называется величина обратная передаточному отношению  $u$ .

$$u'_{1-2} = \frac{1}{u_{1-2}}. \quad (2.4)$$

Если к ведущему валу подвести мощность  $N_1$ , то с ведомого вала можно будет снять мощность  $N_2$ , которая несколько меньше мощности  $N_1$ , так как в передаче неизбежны некоторые потери (например, на трение). Эти потери можно оценить коэффициентом полезного действия  $\eta$  [1]. Так как

$$N = M \cdot \omega \text{ и}$$

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \text{ то}$$

$$\eta = \frac{N_2}{N_1} = \frac{M_2 \omega_2}{M_1 \omega_1} = \frac{M_2 \pi n_2 / 30}{M_1 \pi n_1 / 30} = \frac{M_2 n_2}{M_1 n_1} = \frac{M_2}{M_1 n_1 / n_2} = \frac{M_2}{M_1 u_{1-2}}. \quad (2.5)$$

Из полученного соотношения имеем:

$$u_{1-2} = \frac{M_2}{M_1 \eta}. \quad (2.6)$$

Сопоставив выражения (2.3) и (2.6) без учета КПД (идеальная передача), получим:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{M_2}{M_1}, \quad (2.7)$$

откуда  $n_1 \cdot M_1 = n_2 \cdot M_2$  и  $\omega_1 \cdot M_1 = \omega_2 \cdot M_2$ .

Следовательно, в идеальной передаче (без потерь) изменение частоты вращения, или угловой скорости, обратно пропорционально изменению вращающихся моментов.

Обычно бывает нужно определить момент  $M_2$  на ведомом валу передачи при известном моменте  $M_1$  на ведущем валу и передаточном отношении  $u_{1-2}$ . Очевидно, что  $M_2 = M_1 \cdot u_{1-2}$ .

Если при этом учитывать потери энергии, то

$$M_2 = M_1 \cdot u_{1-2} \eta. \quad (2.8)$$

Когда  $u_{1-2} > 1$ , передача называется **понижающей** или силовой.

В этом случае  $\omega_2 < \omega_1$ ,  $n_2 < n_1$ ,  $M_2 > M_1$ .

Когда  $u_{1-2} < 1$ , передача называется **повышающей** или **кинематической**. В этом случае  $\omega_2 > \omega_1$ ,  $n_2 > n_1$ ,  $M_2 < M_1$  [1].

Множество деталей, из которых состоит станок, образуют неподвижные или подвижные звенья. Эти звенья объединены в кинематические пары, кинематические цепи, механизмы, узлы. **Рабочими органами** станка называются звенья, несущие на себе инструмент и обрабатываемую заготовку: вращающиеся шпиндели и планшайбы, прямолинейно перемещающиеся суппорты и ползуны, поворотные или движущиеся прямолинейно столы и т.п.

Под **кинематической схемой** понимается условное графическое обозначение совокупности рабочих органов, источников движения, кинематических пар, звеньев и их связей.

В таблице 2.2 приведены некоторые графические обозначения для кинематических схем согласно ГОСТ 2.770.

Таблица 2.2 – Условные графические обозначения на кинематических схемах

Электродвигатель		д) жёсткое с шаровым шарнирным присоединением третьего стержня	
Вал (ось)		<b>Шпиндели</b> С центром (токарного станка)	
Неподвижное закрепление оси, стержни пальцев и т.п.		С патроном (токарного станка)	
Подвижная опора для стержня а) скольжения		Револьверного станка (цанговый патрон)	
б) качения		Сверлильного станка	
Опора для стержней а) неподвижная		Планшайба со шпинделем расточного станка	
б) подвижная		Фрезерного станка	
Соединения стержней а) жёсткое		Шлифовального станка	
б) шарнирное		Подшипники На валу (радиальный)	
в) шаровым шарниром		На валу радиально-упорный (односторонний)	
г) жёсткое с шарнирным присоединением третьего стержня		На валу радиально-упорный (двухсторонний)	
Упорный односторонний без продолжения вала		<b>Соединения вал — деталь</b> Втулка (полый вал), свободно сидящая	
Упорный односторонний с продолжением вала		Втулка (полый вал) передающая крутящий момент и допускающая относит. движ.	
Упорный двухсторонний		С помощью вытяжной шпонки	
Подшипники скольжения Скольжения		Жёстко связанные (соединение неподвижное)	
Самоустанавливающийся (со сферической опорой)		<b>Соединение валов</b> Жёсткое	
Радиально-упорный (односторонний)		Жёсткое с предохранением от перегрузки	
Радиально-упорный (двухсторонний)		Эластичное	
Упорный (односторонний)		Шарнирное	
Упорный (двухсторонний)		Кулачки плоские дисковые	
Подшипники качения Радиальный, шариковый		Кулачки барабанные а) цилиндрические	
Радиальный роликовый		б) конические	
Сферический, шариковый		в) криволинейные	

Продолжение таблицы 2.2

Радиально-упорный		Толкатели для кулачковых механизмов: пальцевые тарельчатые, роликовые	
Роликовый двухрядный			
Шариковый, двухрядный радиально-упорный			
Радиально-упорный роликовый, односторонний		Ползун в неподвижных направляющих	
Радиально-упорный двухсторонний		Винт ходовой	
Шариковый, упорный		Винтовая передача (винт-гайка)	
Шариковый, упорный односторонний		Винтовая передача (шариковая)	
Шариковый, упорный двойной		Винтовая передача (гайка разъёмная)	
Кривошип рычажный		Храповые механизмы односторонний	
Кривошип дисковый		двухсторонний с перекидной собачкой	
Коленчатый вал		внутреннего зацепления храпового колеса и собачки	
Коленчатый вал с жёсткими противовесами		Зубчатая винтовая	
Коленчатый вал с маятниковыми противовесами		Червячная	
Механизм с поступательно движущейся кулисой		Червячная-глобоидная	
Механизм с вращающейся кулисой		Рабочий орган станка — направляющие (салазки — направляющие)	
Механизмы с качающейся кулисой			

### 2.3.1 Условные графические обозначения в структурных схемах

Кинематическая цепь станка, в общем случае, состоит из различных передач – ременной, зубчатой, червячной и других, расположенных в определённой последовательности. Каждая кинематическая цепь имеет определённое назначение, которому соответствует ее название, например, цепь главного движения, цепь движения подач или цепь движения деления. Часто термин «движение» опускают и называют цепь подач, цепь деления и т.п.

Кинематические цепи, обеспечивающие исполнительные движения рабочих органов, называют *структурными* (рисунок 2.1).

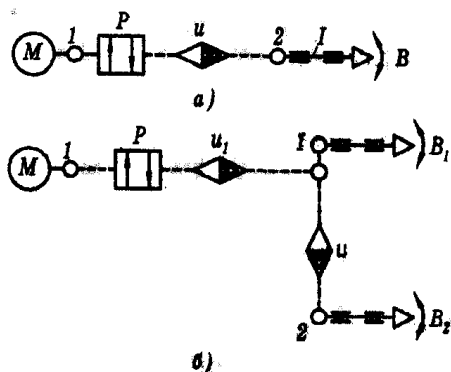


Рисунок 2.1 – Структурные схемы кинематических групп:  
а) простой; б) сложной с двумя исполнительными органами

Органы настройки таких параметров движения, как траектория, скорость и иногда путь, на структурных схемах обозначают знаком  $\diamond$  с буквой  $u$ , а орган настройки направления движения – знаком  $\blacklozenge$ . Заштрихованная часть знака указывает на фактическое направление движения через орган настройки.

Реверсирование движений в структурных схемах обозначается знаком  $\square$  с двумя вертикальными стрелками. Кинематические цепи движений обозначаются цифрами 1, 2, 3, а соответствующие им органы настройки имеют индекс  $u_1, u_2, u_3$  и т.д. [1].

$\diamond_u$  кинематическая цепь с механизмами, имеющими передаточное отношение  $u$ ;

$\blacklozenge_u$  изменение направления движения по кинематической цепи;

$\overrightarrow{1} \diamond_u$  стрелка указывает направление передачи движения по кинематической цепи. Цифра около стрелки – номер кинематической цепи;

$\diamond_{uc}$  элемент кинематической цепи с постоянным передаточным отношением. Индекс при « $u$ » –  $c$  (const) указывает на передаточное отношение конкретного механизма.

Сокращения в структурных схемах:

Р.М. – реечный механизм;

С.М. – суммирующий механизм;

М – электродвигатель;

К – число заходов;

Р – реверсивный механизм;

В – ведомый вал;

О – соединение валов.

Остальные обозначения – общепринятые в кинематических цепях.

Условное изображение совокупности кинематических цепей называют кинематической схемой, которая предназначена для установления принципа рабо-

ты станка и выявления взаимодействия его механизмов. На такой схеме приводят данные привода и передач станка, мощность и частоту вращения двигателя, диаметры шкивов, число зубьев колёс, шаги ходовых винтов и т.п.

## 2.4 Передача движения в станках и расчетные формулы

В станках для передачи движения от шпинделя к исполнительным механизмам применяют различные механические, пневматические и гидравлические передачи. По принципу действия механические передачи делят на передачи трения и зацепления. К первым относят ременные и фрикционные, ко вторым – зубчато-ременные, цепные и зубчатые (рисунок 2.2).

Как указывалось выше, каждая передача содержит ведущее и ведомое звенья. Ведущее звено сообщает требуемое движение ведомому звену. Отношение частоты вращения (угловой скорости)  $n_2$  ведомого вала к частоте вращения  $n_1$ , ведущего вала называется передаточным числом.

$$u' = n_2 / n_1.$$

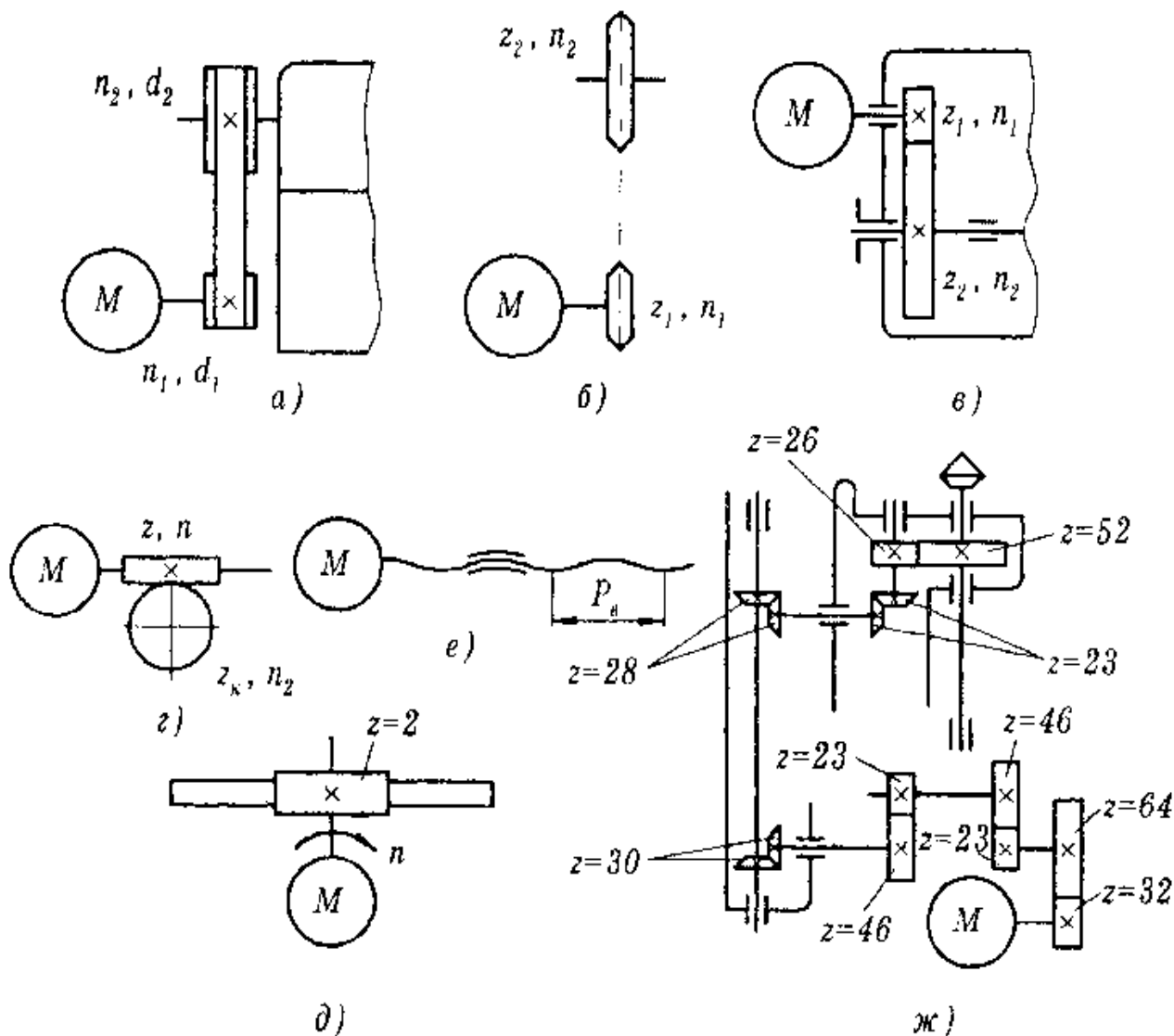


Рисунок 2.2 – Передачи в станках: а) ременная; б) цепная; в) зубчатая; г) червячная; д) реечная; е) винтовая; ж) кинематическая цепь



## 2.4.1 Передачи между параллельными валами

**Ременная передача.** Передаточное число без учёта проскальзывания ремня (рисунок 2.2, а) будет равно:

$$u' = n_2 / n_1 = d_1 / d_2 \text{ или } n_2 = n_1 \cdot d_1 / d_2, \text{ а } n_1 = n_2 \cdot d_2 / d_1. \quad (2.9)$$

где  $d_1, d_2$  – диаметры соответственно ведущего и ведомого шкивов.

Скольжение ремня учитывается, путём ввода поправочного коэффициента, равного 0,97 – 0,985.

Указанные значения передаточных чисел и частот вращения ведомого и ведущего шкивов выводятся из следующих соображений (рисунок 2.3):

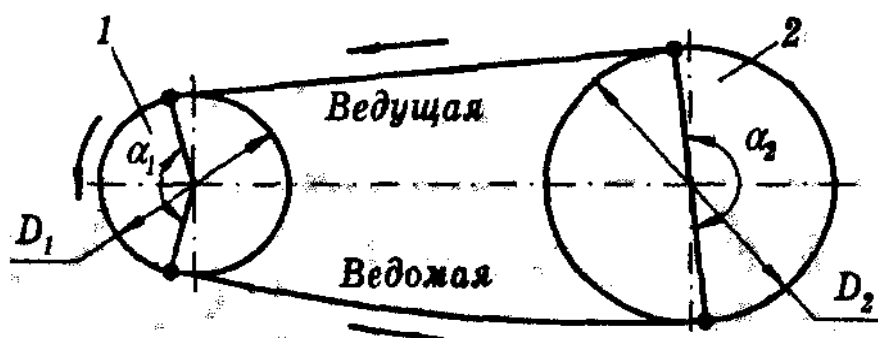


Рисунок 2.3 – Схема ременной передачи:  
1 – ведущий шкив; 2 – ведомый шкив

Линейная скорость (м/мин.) любой точки, лежащей на поверхности вращающегося тела (в нашем случае вращающегося шкива), равна:

$$V = \frac{\pi D_1 n_1}{1000}. \quad (2.10)$$

Следовательно, любая точка ремня, совпадающая с рассматриваемой точкой ведущего шкива, движется с той же скоростью. Значит, те точки ремня, которые контактируют с ведомым шкивом и совпадают с ними точки самого ведомого шкива, имеют ту же скорость

В то же время для ведомого шкива скорость будет равна:

$$V = \frac{\pi D_2 n_2}{1000}. \quad (2.11)$$

Таким образом, сопоставляя обе формулы, получим:

$$D_1 n_1 = D_2 n_2,$$

$$\text{значит: } n_1 / n_2 = D_2 / D_1; \quad \omega_1 / \omega_2 = D_2 / D_1.$$

Но так как левая часть выражения – это передаточное отношение, то  $u_{1-2} = D_2 / D_1$ .

Следовательно, передаточное отношение ременной передачи подсчитывается как отношение диаметров ведомого к ведущего шкивов.

Углы, соответствующие дугам, по которым контактируют ремень и шкив, называются углами обхвата [1],

По результатам анализа данных практической эксплуатации ременных передач можно утверждать, что передача работает нормально, если угол обхвата не меньше  $120^\circ$  [1].

Это требование выполняется, если соблюдаются такие условия:  $1/3 \leq u'_{1-2} \leq 3$  и межосевое расстояние не меньше удвоенной суммы диаметров шкивов [1].

Если требуется получить большее передаточное число, применяют передачу с натяжным роликом (рисунок 2.4) [1].

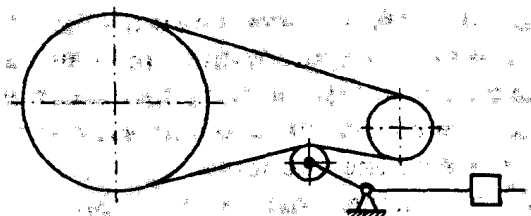


Рисунок 2.4 – Схема ременной передачи с натяжным роликом

Наиболее совершенным видом ременной передачи является поликлиновая передача (рисунок 2.5, б) [1].

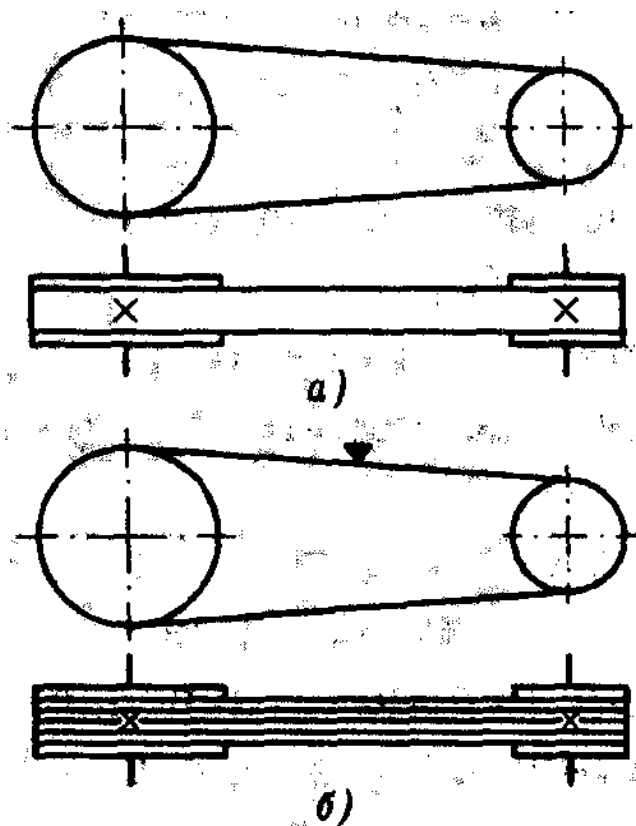


Рисунок 2.5 – Условные обозначения плоскоремennой (а) и поликлиновой (б) передач

На ободах шкивов сделаны клиновидные канавки, в которые входят ремни, имеющие в поперечном сечении форму клина [1].

В некоторых случаях применяются более сложные ременные передачи, состоящие из нескольких ступеней (пар шкивов) (рисунок 2.6). Передаточные от-

ношения отдельных ступеней –  $u_{1-2}$ ,  $u_{3-4}$ ,  $u_{5-6}$  – находятся как отношения диаметров ведомых ( $D_2$ ,  $D_4$ ,  $D_6$ ) и ведущих ( $D_1$ ,  $D_3$ ,  $D_5$ ) шкивов [1].

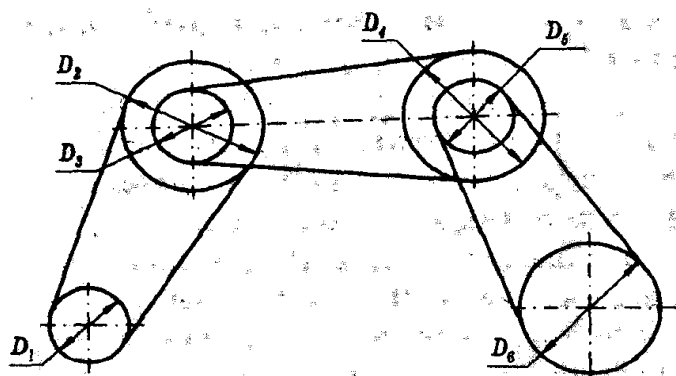


Рисунок 2.6 – Схема многоступенчатой ременной передачи

Применительно ко всей передаче  $D_1$  – это диаметр ведущего шкива, а  $D_6$  – диаметр ведомого шкива, однако их отношение не будет передаточным отношением всей передачи, так как эти шкивы не связаны единым ремнём [1].

Передаточное отношение первой пары шкивов составит [1]:

$$u_{1-2} = n_1 / n_2 = D_2 / D_1; \text{ откуда } n_2 = n_1 \cdot D_1 / D_2.$$

Передаточное отношение второй пары шкивов [1]:

$$u_{3-4} = n_2 / n_4 = D_4 / D_3.$$

Здесь  $n_2 = n_3$ , так как шкивы  $D_2$  и  $D_3$  закреплены на одном валу (рисунок 2.6) ременной передачи [1].

Передаточное отношение третьей пары шкивов [1]:

$$u_{5-6} = n_4 / n_6 = D_6 / D_5; \text{ (} n_4 = n_5 \text{), откуда } n_6 = n_4 \cdot D_5 / D_6.$$

Передаточное отношение всей передачи составит [1]:

$$u_{1-6} = n_1 / n_6 = \frac{n_1}{n_4 \frac{D_5}{D_6}} = \frac{n_1}{n_2 \frac{D_3 D_5}{D_4 D_6}} = \frac{n_1}{\frac{D_1 D_3 D_5}{D_2 D_4 D_6}} = \frac{D_2 D_4 D_6}{D_1 D_3 D_5} = u_{1-2} u_{3-4} u_{5-6}. \quad (2.12)$$

Таким образом, передаточное отношение ременной ступенчатой передачи равно произведению передаточных отношений отдельных её ступеней [1].

**Фрикционная передача**, так же как и ременная, основана на использовании сил трения. Простейшая цилиндрическая фрикционная передача состоит из двух гладких дисков, прижатых друг к другу (рисунок 2.7) [1].

Поскольку работоспособность фрикционной передачи зависит от силы трений, то при изготовлении таких передач подбираются соответствующие материалы дисков, дающие в паре высокий коэффициент трения. Для создания необходимого давления между катками применяют специальные нажимные устройства [1].

Существуют передачи, позволяющие в определённых пределах бесступенчато (плавно) изменять передаточное отношение. Их называют **вариаторами** (варьировать – значит изменять). Этого можно достигнуть, например, изменяя положение ремня на конических шкивах ременной передачи (рисунок 2.8, а), либо

перемещая ролик во фрикционной передаче (рисунок 2.8, б), Если изменять положение ремня или ролика, то ведомый элемент 2 вместе с валом будет изменять угловую скорость при неизменной угловой скорости ведущего вала 1. В правом крайнем положении ремня или ролика передаточное отношение будет минимальным, в крайнем левом – максимальным [1].

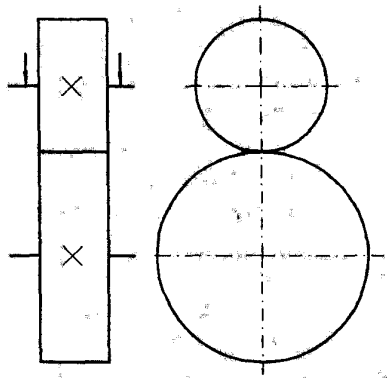


Рисунок 2.7 – Схема фрикционной цилиндрической передачи с внешним касанием

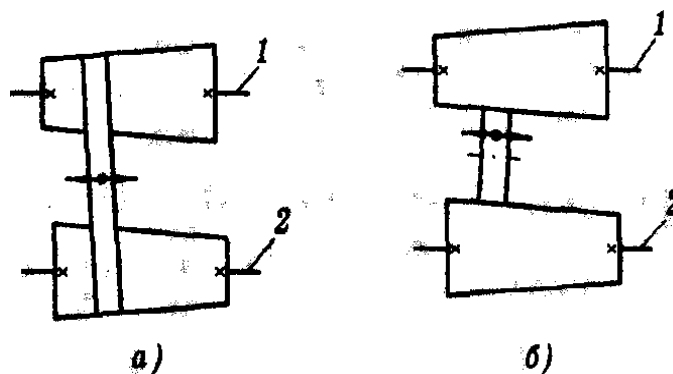


Рисунок 2.8 – Схемы вариаторов с ремнем (а) и роликом (б):  
1 – ведущий вал; 2 – ведомый вал

**Цепная передача.** Передаточное число (рисунок 2.9) равно [1]:

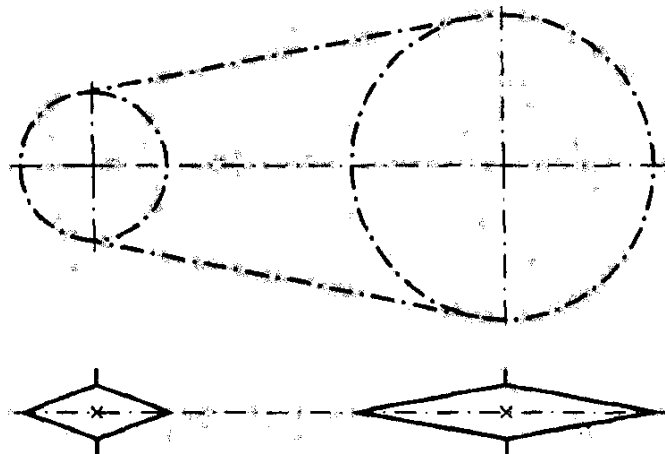


Рисунок 2.9 – Условное обозначение цепной передачи

$$u' = n_2 / n_1 = z_1 / z_2, \text{ откуда } n_2 = n_1 \cdot z_1 / z_2, \quad (2.13)$$

где  $z_1$  и  $z_2$  – числа зубьев соответственно ведущей и ведомой звездочек.

Как и ременная, эта передача с гибкой связью. Гибким звеном в этом случае является цепь, входящая а зацепление  $c$  зубьями звёздочки. Цепная передача имеет ряд преимуществ по сравнению с ременной: отсутствие проскальзывания, а следовательно, постоянство передаточного отношения и возможность передавать большие крутящие моменты [1].

**Зубчатая передача** осуществляется цилиндрическими или коническими зубчатыми колёсами (рисунок. 2.2, в). Передаточное число:

$$u' = n_2 / n_1 = z_1 / z_2, \text{ откуда } n_2 = n_1 \cdot z_1 / z_2,$$

где  $z_1$  и  $z_2$  – числа зубьев соответственно ведущего и ведомого зубчатых колёс.

Наиболее распространённые передачи с эвольвентным профилем зуба (рисунок. 2.10). Такой профиль позволяет зубьям при вращении колёс обкатываться друг по другу, что позволяет, зубчатой передаче работать плавно, с небольшими потерями на трение. Зубчатые колёса бывают с прямыми, косыми и шевронными зубьями. Косозубые и шевронные колеса обеспечивают более плавный ход передач, так как в зацеплении одновременно находится большее число пар зубьев по сравнению с прямоугольной передачей.

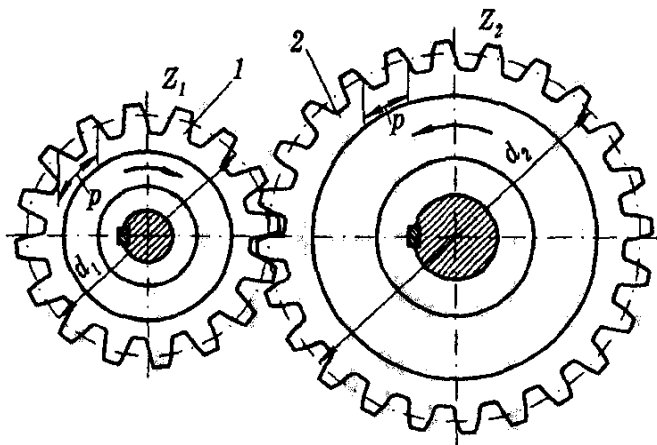


Рисунок 2.10 – Зубчатая цилиндрическая передача с наружным зацеплением

Зубчатое зацепление возможно лишь при равенстве окружных шагов  $p$ , измеренных по дугам делительных окружностей. **Шаг** – это длина отрезка дуги делительной окружности, равная длине всей делительной окружности, разделённой на число зубьев  $z$ . На одном колесе эта зависимость выражается так:

$$p = \pi \cdot d_1 / z_1, \text{ на другом } p = \pi \cdot d_2 / z_2, \quad (2.14)$$

следовательно,  $p \cdot d_1 / z_1 = p \cdot d_2 / z_2$  и отсюда  $d_2 / d_1 = z_2 / z_1$

Так как  $d_2/d_1 = u_{1-2}$ , то окончательно

$$u_{1-2} = z_2 / z_1. \quad (2.15)$$

При наиболее распространённом способе изготовления зубчатых колёс методом обкатки число зубьев не может быть меньше 15. В противном случае инструмент будет подрезать основание зуба и ослаблять его. Наибольшее число зубьев теоретически ничем не ограничено, однако и здесь есть разумный предел. С

учётom этих соображений рассчитано, что передаточное число должно находиться в следующих пределах [1].

$$1/5(1/7) \leq u'_{1-2} \leq 5(7). \quad (2.16)$$

К геометрическим элементам зубчатого зацепления относятся: шаг ( $p$ ), диаметр делительной окружности ( $d$ ) и модуль ( $m$ ).

$$p = \pi \cdot d / z. \quad (2.17)$$

Отсюда можно определить диаметр делительной окружности:

$$d = p \cdot z / \pi. \quad (2.18)$$

Для первого колеса (рисунок 2.11)  $d_1 = p \cdot z_1 / \pi$ , для второго  $d_2 = p \cdot z_2 / \pi$ .

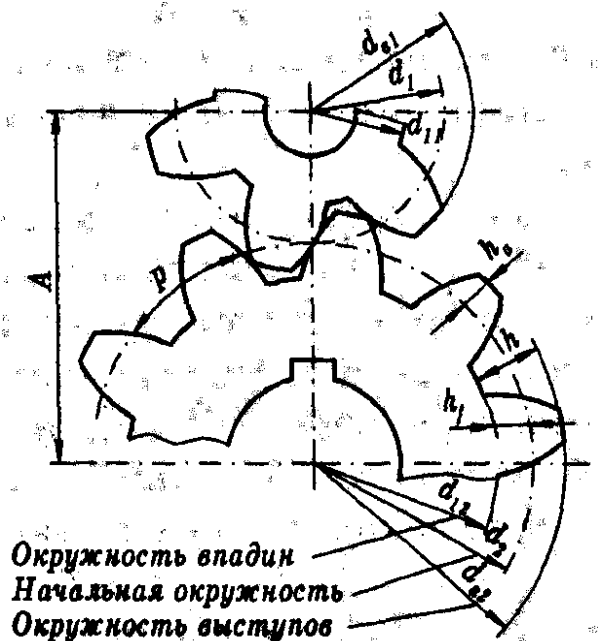


Рисунок 2.11 – Элементы зубчатого зацепления

В обоих выражениях есть одна и та же величина  $p/\pi$ . Поскольку эта величина не может быть подсчитана точно, более удобно, взамен её, ввести величину, называемую **модулем** зубчатого колеса:

$$m = p / \pi.$$

Модуль является основной геометрической характеристикой зубчатого колеса. Величина модуля стандартизована, что облегчает изготовление и подбор зубчатых колес.

С учётом модуля:

- диаметр делительной окружности:  $d = mz$ ;
- диаметр окружности выступов:  $d_a = d + 2h_a = m(z+2)$ , где  $h_a$  – высота головки зуба;
- диаметр окружности впадин:  $d_f = d - 2h_f = m(z-2,5)$ , где  $h_f$  – высота ножки зуба.

Расстояние между центрами колёс (межосевое расстояние):

$$A = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}. \quad (2.19)$$

Модуль колеса легко подсчитать, измерив диаметр окружности выступов и разделив его на число зубьев, увеличенное на 2 (с последующим округлением до ближайшей стандартной величины), т.е.

$$m = \frac{d_a}{z + 2}. \quad (2.20)$$

Приведенные выводы справедливы только для зубчатых колёс с прямыми зубьями.

Рассмотренные зубчатые цилиндрические передачи состоят из колёс, профиль зуба которых очерчен по эвольвенте. Такие колёса просты в изготовлении, но недостаточно износостойки, т.к. зубья соприкасаются по очень узкой полоске (теоретически по линии) (рисунок 2.12, а).

Существует ещё один вид зацепления – передача Новикова. Профили зубьев этой передачи образованы дугами окружностей, причём одно колесо имеет зубья с выпуклым профилем, другое – с вогнутым (рисунок 2.12, б). В этом случае зубья касаются по довольно значительной площадке. Удельное давление снижается, что позволяет увеличить передаваемую нагрузку в три – четыре раза. Такие же механизмы используются для передачи больших мощностей [1].

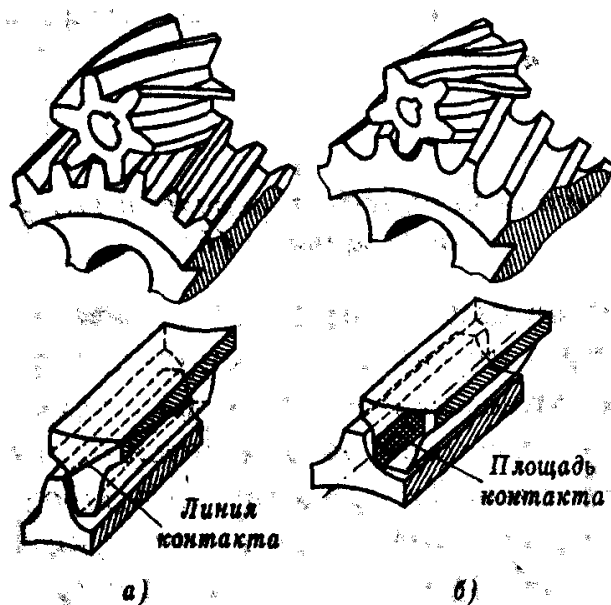


Рисунок 2.12 – Зацепление зубчатых колёс:  
 а – с эвольвентным профилем зубьев;  
 б – с круговым профилем

#### 2.4.2 Зубчатые передачи между пересекающимися и перекрещивающимися валами

*Механизмы с коническими зубчатыми колесами* (рисунок 2.13) применяются при передаче вращения между пересекающимися валами, чаще всего перпендикулярными. Передаточное отношение в этом случае подсчитывается аналогично тому, как для цилиндрической передачи, т.е. [1]

$$u_{1-2} = z_2 / z_1.$$

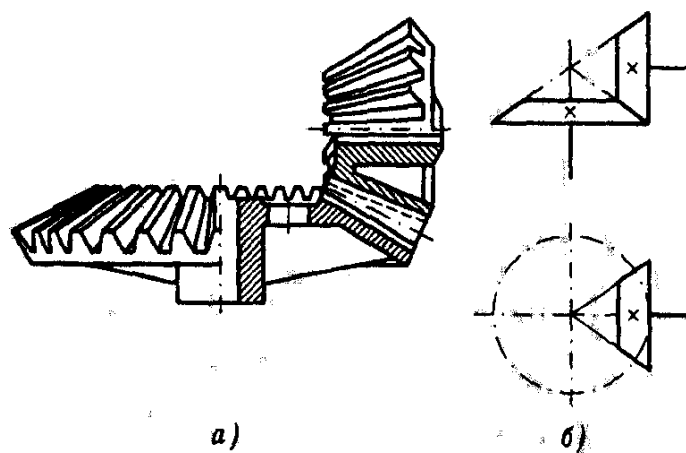


Рисунок 2.13 – Зубчатая коническая передача (а) и ее условное обозначение (б)

**Червячная передача** – это зубчато-винтовая передача состоящая из червячного колеса с зубьями специальной формы и червяка (винта с трапецеидальной резьбой). Она применяется для передачи вращения между валами, геометрические оси которых скрещиваются (рисунок 2.2, з). Для обеспечения зацепления шаг червяка должен быть равен окружному шагу червячного колеса. Червяк, как и обычный винт, может быть одно- и многозаходным. Если повернуть однозаходный червяк на один оборот, то связанное с ним червячное колесо повернется на угол, соответствующий одному шагу. Следовательно, передаточное число червячной пары составит:  $u'_{1-2} = z_K / z_{ч}$ , где  $z_K$  – число зубьев колеса,  $z_{ч}$  – число заходов резьбы на червяке [1].

Передаточное отношение с учётом частоты вращения червяка ( $n_2$ ) и червячного колеса ( $n_1$ ) составит

$$u_{1-2} = n_2 / n_1 = k / z_K, \text{ откуда } n_2 = n_1 \cdot k / z_K, \quad (2.21)$$

где  $k$  – число заходов червяка;  $z_K$  – число зубьев червячного колеса.

**Червячная передача** (рисунок 2.14) имеет ряд преимуществ по сравнению с другими передачами: плавность и бесшумность работы, возможность получения больших передаточных чисел, при малом угле наклона винтовой линии червяка (при малом числе заходов червяка) передача будет самотормозящей, однако она имеет наиболее низкий КПД (большие потери на трение), поэтому для изготовления червячного колеса обычно используют дорогие антифрикционные материалы (бронзу) [1].

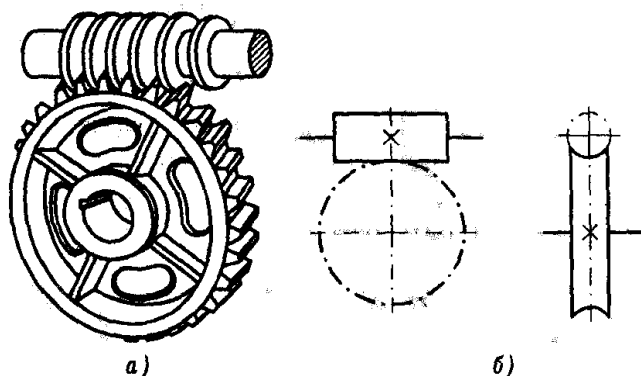


Рисунок 2.14 – Червячная передача (а) и ее условное обозначение (б)



### 2.4.3 Механизмы, преобразующие движения

**Зубореечный механизм (реечная передача)** (рисунки 2.2, д и 2.15) состоит из зубчатого цилиндрического колеса и зубчатой рейки – планки с нарезанными на ней зубьями. Служит для преобразования вращательного движения шестерни в поступательное движение рейки и наоборот [1].

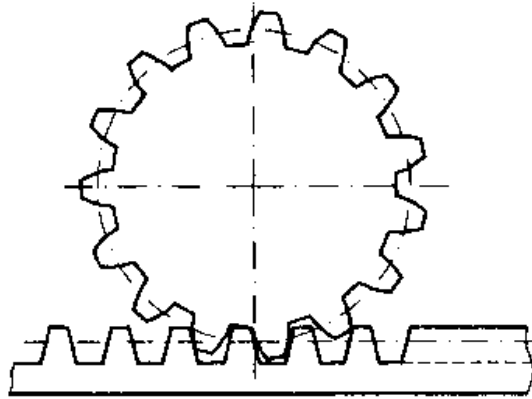


Рисунок 2.15 – Схема зубореечного механизма

Длина перемещения рейки за один оборот шестерни равна [1]:

$$l = z \cdot p = z \cdot \pi \cdot m, \quad (2.22)$$

где  $p = \pi \cdot m$  – шаг зуба рейки, мм;  $z$  – число зубьев реечного колеса;  $m$  – модуль зубьев реечного зубчатого колеса, мм.

**Винт и гайка** (рисунок 2.2, е). Винтовой: механизм состоит из винта и гайки. Он широко используется для преобразования вращательного движения в поступательное. Возможны несколько вариантов применения такого механизма [1]:

- ведущим элементом является винт, которому сообщается вращательное движение. Гайка закреплена неподвижно, поэтому винт, вращаясь, одновременно будет перемещаться поступательно;

- ведущим элементом также является винт, и ему сообщается вращательное движение, но он закреплён так, что лишен возможности поступательного перемещения. Гайка, в свою очередь, лишена возможности вращаться и будет перемещаться лишь поступательно;

- ведущим звеном является гайка, ей сообщается поступательное движение. Ведомым звеном в этом случае будет вращающийся винт.

Возможно и обратное преобразование – поступательного движения винта во вращательное движение гайки [1].

Перемещение гайки за один оборот винта равно [1]:

$$l = z \cdot p_B, \quad (2.23)$$

где  $p_B$  – шаг винта, мм;  $z$  – число заходов винта.

## 2.5 Приводы станков

**Приводом** называется совокупность механизмов, передающих движение от

источника до элемента, выполняющего основные, вспомогательные или взаимосвязанные движения станка. В привод входят двигатель, механизм изменения частоты вращения шпинделя, механизмы включения, выключения и реверсирования движений [1].

В станках применяются: приводы вращательного и прямолинейного движения рабочих органов, гидро- и пневмоприводы, приводы периодически повторяющихся перемещений на точно фиксированную величину. На МРС применяются приводы со ступенчатым изменением скорости движения исполнительных органов и бесступенчатым [1].

**Ступенчатые приводы** изменяют скорость движения механической передачей, а **бесступенчатые** – гидроприводом, электроприводом постоянного тока, механическим вариатором или комбинированным, сочетающим регулируемый электродвигатель с коробкой скоростей и др. [1].

Привод со ступенчатым изменением частоты вращения шпинделя характеризуется **числом ступеней**. Он обладает жёсткой характеристикой, т.е. незначительно изменяет число оборотов под нагрузкой и обеспечивает при резании постоянство мощности в пределах всего диапазона скоростей [1].

Достоинство приводов со ступенчатым изменением скоростей – их компактность, надёжность в работе и удобство в управлении [1].

Преимуществом бесступенчатого привода перед ступенчатым является возможность установления на станке наивыгоднейшей расчётной скорости резания при обработке изделий, изменения величины скорости во время работы станка. Бесступенчатые приводы могут быть с электрическим, механическим и гидравлическим регулированием частоты вращения [1].

Более подробно с информацией о приводах МРС можно ознакомиться в источниках [1, 2, 3, 4].

## 3 МЕХАНИЗМЫ ПРИВОДА СТАНКОВ

### 3.1 Механизмы прямолинейного движения

В металлорежущих станках для осуществления прямолинейных движений (рисунок 3.1) преимущественно используют следующие механизмы: зубчатое колесо-рейка (рисунок 3.1, *а*), червяк-рейка (рисунок 3.1, *б*), кулачковый механизм (рисунок 3.1, *в*), ходовой винт – гайка (рисунок 3.1, *г*), реечный косозубый механизм (рисунок 3.1, *д*) [1, 2].

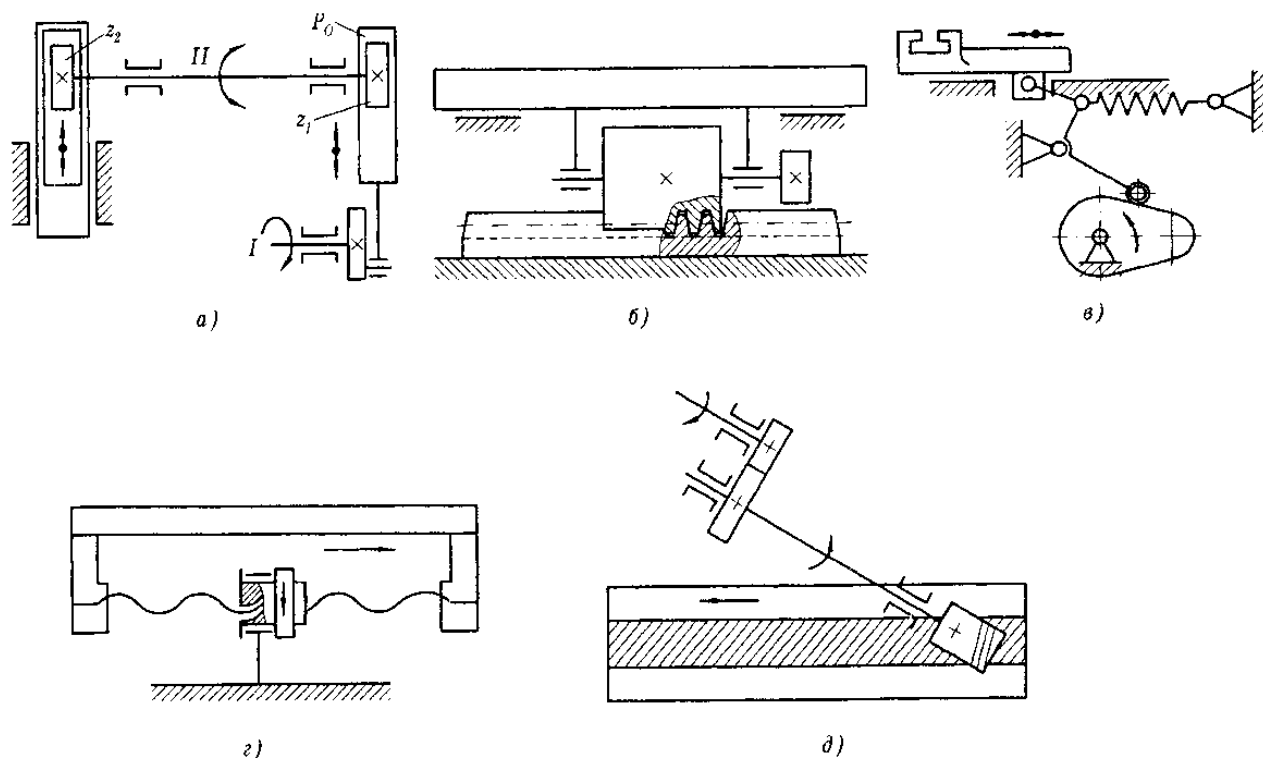


Рисунок 3.1 – Механизм прямолинейного движения:

*а*) зубчатое колесо-рейка; *б*) червяк-рейка; *в*) кулачковый механизм; *г*) ходовой винт – гайка; *д*) реечный косозубый механизм

Из представленных механизмов хочется обратить внимание на кулачковые механизмы, которые позволяют осуществлять любой закон движения ведомого звена при непрерывном равномерном вращении ведущего звена. Простейший дисковый (или плоский) кулачковый механизм (рисунок 3.2, *а*) представляет собой кулачок (диск) 1, вращающийся на оси 4, с толкателем-ползуном 2, прижимаемым к кулачку пружиной 3 [1].

Кроме плоского кулачкового механизма существует и более сложный – пространственный. В этом случае (рисунок 3.2, *б*) кулачок имеет форму цилиндра с расположенным на его поверхности замкнутым пазом (канавкой). В паз входит ролик, расположенный на оси, закреплённой в ползуне. При вращении кулачка ползун совершает возвратно-поступательное движение [1].

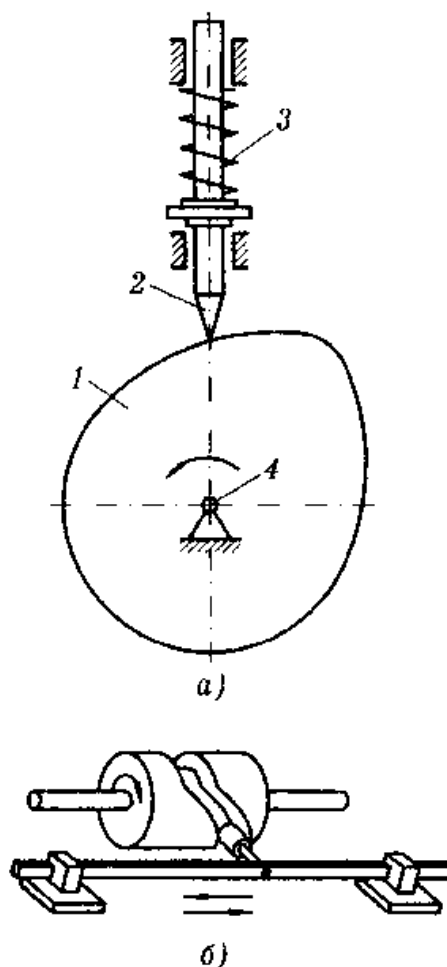


Рисунок 3.2 – Схемы кулачковых механизмов:  
 а) плоского; б) пространственного

### 3.2 Механизмы коробки передач

Механизмы коробки передач предназначены для изменения скорости и направления подач при обработке на станках различных деталей.

Подачу можно изменить различными способами: с помощью механизмов с зубчатыми передачами и без применения зубчатых передач. Для получения большого числа значений подач коробки передач конструируют, используя сразу несколько механизмов, рассмотрим наиболее распространенные из них [1].

**Коробки подач с парой сменных зубчатых колёс** применяют в станках для крупносерийного производства при редкой наладке (например, автоматы, полуавтоматы и др.) [1].

**Коробки подач с передвижными блоками зубчатых колёс** широко применяют в универсальных станках. Они позволяют работать с большими крутящими моментами и скоростями (рисунок 3.3, а) [1].

**Коробки подач со встречными ступенчатыми конусами колёс и вытяжной шпонкой** на четыре различных передаточных отношения. Механизмы с вытяжными шпонками обычно используют в качестве основной группы передач коробки подач. Недостатком этого механизма является то, что зубчатые ко-

леса ведомого вала независимо друг от друга передают крутящий момент и постоянно вращаются, что ускоряет их изнашивание (рисунок 3.3, б) [1].

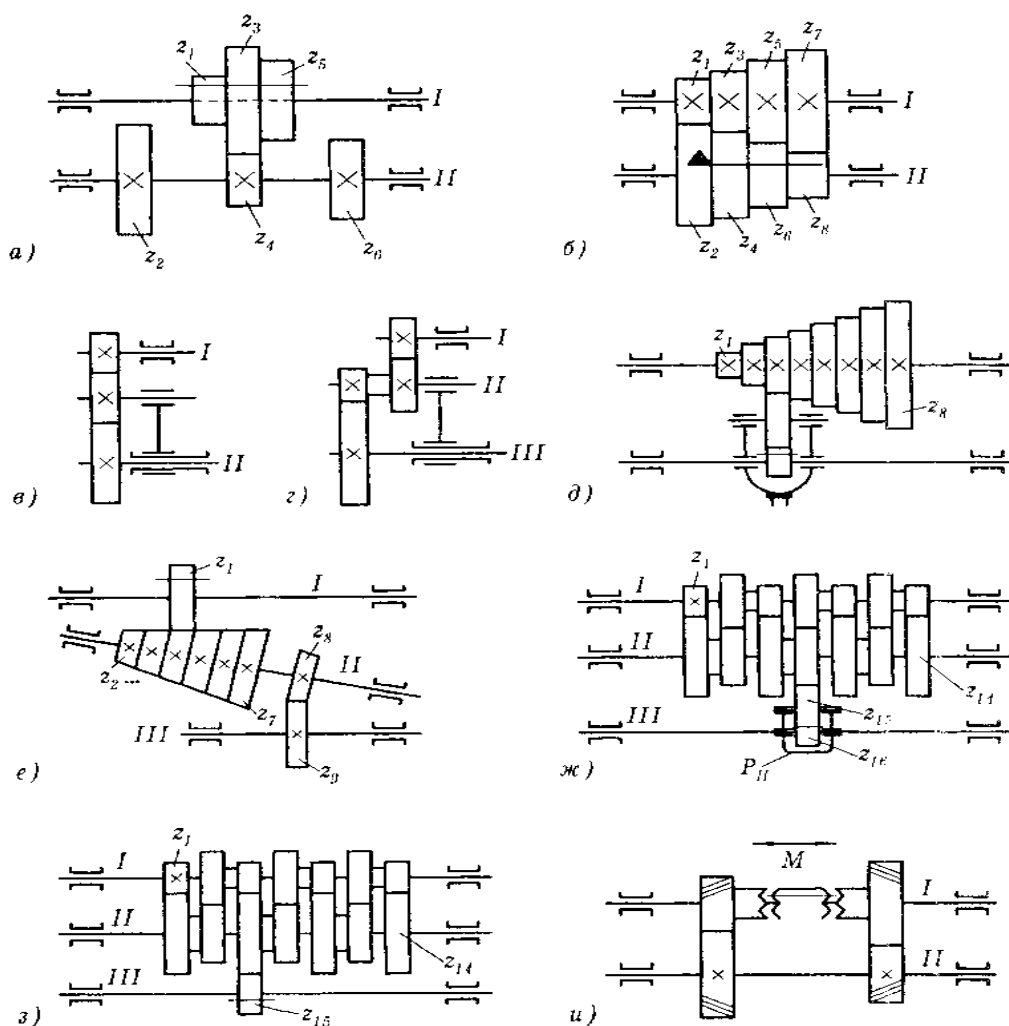


Рисунок 3.3 – Механизмы коробки передач:

а) с передвижным блоком зубчатых колёс; б) механизм с вытяжной шпонкой; в) зубчатая передача с паразитной шестерней; г) зубчатая передача с блоком паразитных колёс; д) в виде механизма Нортонa со ступенчатым конусом зубчатых колес и накидным колесом; е) механизм Нортонa; ж) механизм Меандра с накидной рамкой; з) механизм Меандра с передвижным зубчатым колесом; и) механизм с двухсторонней кулачковой муфтой

**Коробки подач в форме гитар сменных зубчатых колёс.** Гитара – узел станка предназначенный для изменения скорости подач. Гитара сменных колёс даёт возможность настраивать подачу с любой степенью точности (рисунок 3.3, в, г). Они позволяют применять передаточные числа до  $u'_{min} = 1/8$  [1].

**Коробки подач с механизмом Нортонa** часто применяются в токарно-винторезных станках, т. к. они обеспечивают получение арифметического ряда подач, требуемого при нарезании стандартных резьб. Этот механизм при малых осевых размерах позволяет получить до 12 различных передаточных отношений (рисунок 3.3, д, е) [1].

**Механизм Меандра** используется в токарно-винторезных станках (рисунок 3.3, ж, з). На ведущем валу *I* (рисунок 3.3, ж) закреплено зубчатое колесо  $z_1$ , а три двойных блока свободно вращаются. Промежуточный вал *II* несёт три свободных блока и колесо  $z_{14}$ . На ведомом валу *III* может скользить накидная рамка  $P_H$  с колёсами  $z_{15}$  и  $z_{16}$ , причём последние можно зацеплять с любым из зубчатых колёс на валу *II* и получать семь передаточных отношений. Число зубьев колёс подбирают так, чтобы  $z_1 = z_4 = z_5 = z_8 = z_9 = z_{12} = z_{13} = z$ , а  $z_2 = z_3 = z_6 = z_7 = z_{10} = z_{11} = z_{14} = 2z$ , т.е. все передаточные отношения последовательно отличаются друг от друга в два раза со знаменателем ряда  $\varphi = 2$ . Достоинством механизма Меандра является однорычажное управление и малые размеры при большом диапазоне регулирования, однако недостаточно жёсткое и точное сопряжение включающих колёс и постоянное вращение шестерён, не участвующих в передаче движения, снижает эффективность его применения. Механизм Меандра может быть и с передвижными зубчатыми колёсами на валу вместо накидной рамки (рисунок 3.3, з) [1].

**Механизм с двухсторонней кулачковой муфтой** (рисунок 3.3, и) позволяет организовать между двумя валами как силовую (понижающую), так и кинематическую (повышающую) передачу. На ведущем валу *I* расположена двухсторонняя муфта  $M$ , перемещение которой влево или вправо изменяет частоту вращения ведомого вала *II* [1].

### 3.3 Механизмы для осуществления периодических движений

К механизмам для осуществления периодических движений относятся храповые, мальтийские, кривошипно-шатунные, кулисные и др. [1].

**Храповые механизмы** могут быть с наружным (рисунок 3.4, а) и внутренним (рисунок 3.4, б) зацеплением.

Передаточное отношение храпового механизма равно [1]:

$$u_{XM} = \frac{a}{z_{XK}} \quad (3.1)$$

где  $a$  – часть зубьев храпового колеса, захватываемое собачкой;  $z_{XK}$  – число зубьев храпового колеса.

На рисунке 3.4, в приведён **кривошипно-реечный механизм с торцовой храповой муфтой**, в котором вращение кривошипа  $K$  приводит к возвратно-поступательному движению рейку  $P_a$ , которая, будучи связана с цилиндрическим колесом  $z_1$ , приводит в реверсивное движение (за один оборот кривошипа) вал *II*, на котором находится (с возможностью продольного перемещения) подпружиненная храповая полумуфта  $M_X$ , которая при вращении вала в направлении «в» передаёт движение колесу  $z_2$ , а при направлении движения «а» выходит из зацепления и оставляет колесо  $z_2$  неподвижным. Аналогичный механизм, но с поршневым двигателем и наружной собачкой показан на рисунке 3.4, г [1].

**Мальтийские механизмы** чаще всего применяют для периодического поворота на постоянный угол револьверных головок, шпиндельных блоков многошпиндельных автоматов и т.д. [1].

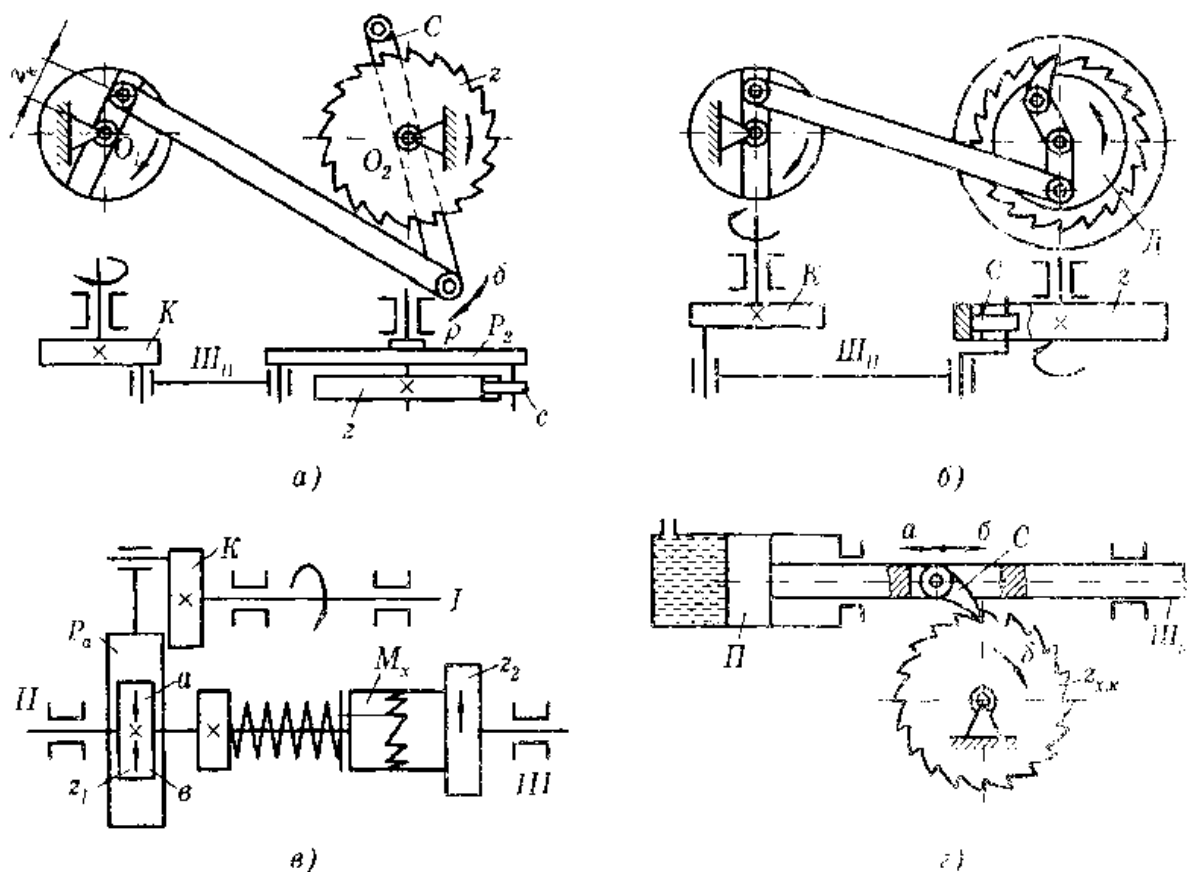


Рисунок 3.4 – Механизмы для осуществления периодических движений:  
 а) кривошипно – храповый с наружным зацеплением; б) тоже с внутренним зацеплением; в) кривошипно-реечный механизм с торцевой храповой муфтой; г) тоже с поршневым двигателем

Мальтийские механизмы бывают правильные и неправильные. У правильных механизмов крест имеет пазы с равномерным шагом, у неправильных углы между смежными пазами креста различные. В мальтийском механизме при вращении кривошипа палец или ролик заходит в паз креста и за каждый оборот поворачивает его на  $1/Z$  часть ( $Z$  – число пазов), т.е. передаточное отношение мальтийского креста  $u_{MM} = 1/Z$ , обычно  $Z = 3...8$ . Основные соотношения параметров мальтийского механизма [1]:

$$2\beta = 2\pi/Z; \alpha + \beta = \pi/2,$$

где  $\alpha$  – половина центрального угла кривошипа за период поворота креста на угол  $\beta$ ;  $\beta$  – половина угла между соседними пазами креста (рисунок 3.5, а).

На рисунке 3.5, б представлен механизм с однооборотной муфтой, обеспечивающий прерывистое движение ведомого вала за счёт кулачкового механизма, имеющегося на поверхности однооборотной зубчатой муфты  $M$  [1].

При выключении электромагнита  $\mathcal{E}$  стержень  $I$  входит в паз кулачка вращающейся муфты  $M$  и за один её оборот выводит её из зацепления с полумуфтой и зубчатым колесом  $2$ . В результате движение на ведомый вал  $B$  прекращается. При включении электромагнита  $\mathcal{E}$  стержень  $I$  выводится из паза кулачка муфты  $M$  и под действием пружины  $\Pi$  включается движение ведомого вала [1].

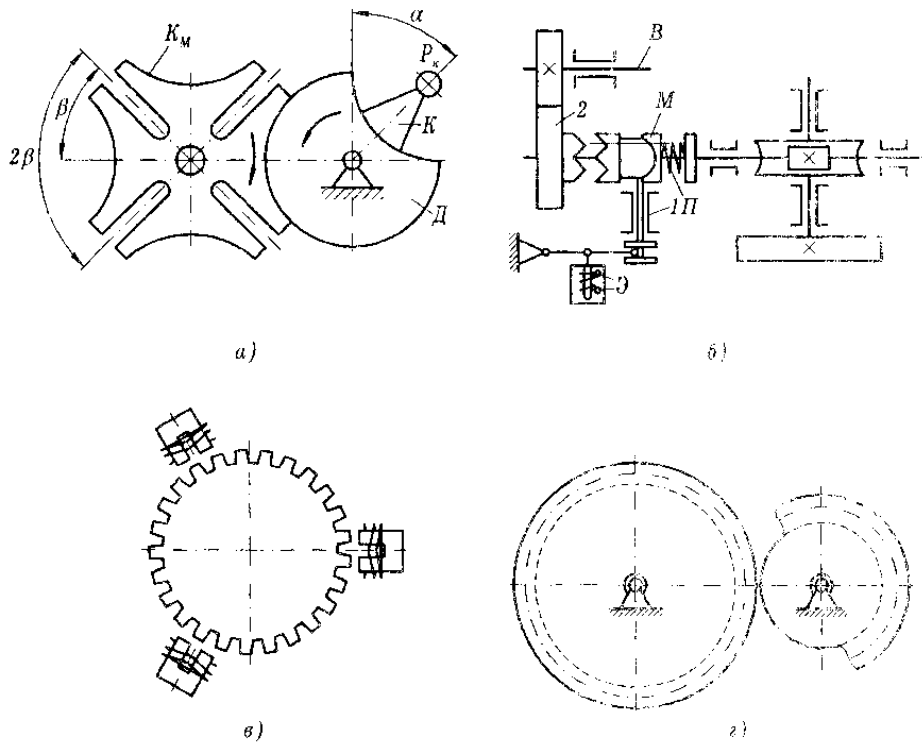


Рисунок 3.5 – Механизмы для осуществления периодических движений: а) четырехпозиционный мальтийский механизм с одним кривошипом; б) механизм с однооборотной муфтой; в) шаговый электродвигатель; з) секторный зубчатый механизм

На рисунке 3.5, в приведена схема *шагового двигателя*, вал которого под действием электрических импульсов осуществляет поворот на соответствующий угол, пропорциональный длительности поступающих импульсов со скоростью, пропорциональной частоте импульсов [1].

На рисунке 3.5, з приведён *секторный зубчатый механизм*, позволяющий осуществлять прерывистое движение ведомого вала по длительности равное части одного оборота или по углу нарезанного зубчатого сектора [1].

**Кривошипно-шатунный механизм.** Его применяют как для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное, так и для преобразования возвратно-поступательного во вращательное. Кривошип 2 (рисунок 3.6) непрерывно вращается вокруг оси на неподвижной стойке 1, ползун 4 совершает возвратно-поступательное движение, а шатун 3 – сложное плоско-параллельное движение [1].

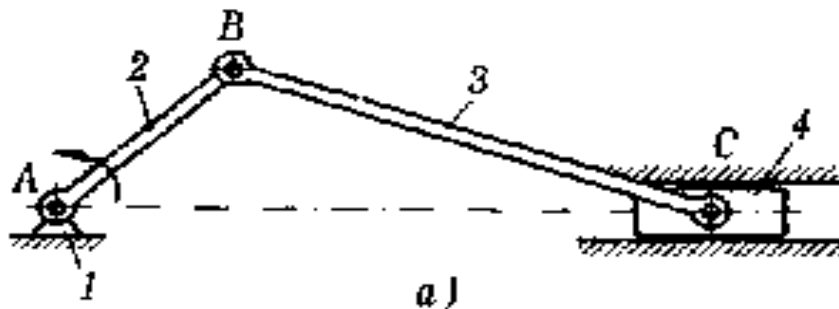


Рисунок 3.6 – Кривошипно-шатунный механизм



Разновидностью кривошипно-шатунного механизма является *эксцентрик-ковый механизм* (рисунок 3.7). Роль кривошипа в этом механизме выполняет эксцентрик 1, закреплённый на ведущем валу [1].

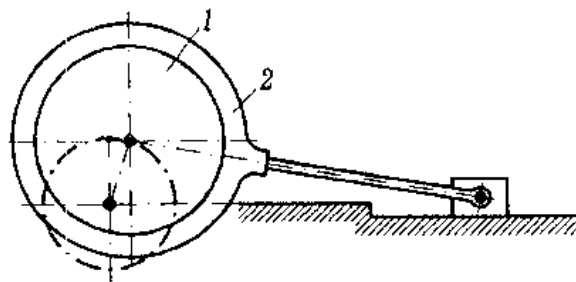


Рисунок 3.7 – Эксцентрик-ковый механизм

*Кривошипно-кулисный механизм* (рисунок 3.8). Его также называют механизмом с качающейся кулисой. Вокруг неподвижной оси вращается кривошип 1, на конце которого имеется палец 2. На палец свободно насажен ползун 3, скользящий в продольном прямолинейном пазу прорезанном в рычаге 4 (кулисе) [1].

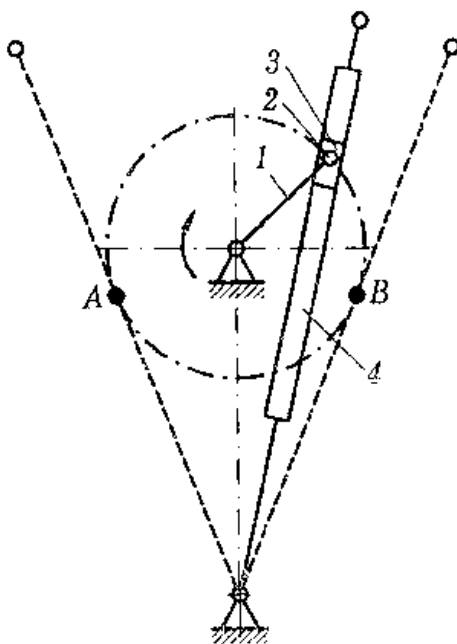


Рисунок 3.8 – Кривошипно-кулисный механизм

При вращении кривошипа ползун скользит в пазу кулисы и поворачивает её вокруг неподвижной оси. При перемещении пальца 2 из положения *A* в положение *B* кулиса перемещается из крайнего левого положения в крайнее правое, а при дальнейшем перемещении пальца из положения *B* в положение *A* кулиса совершает обратный ход [1].

Так как углы поворота кривошипа, на конце которого находится палец, при этом равны, то и время, а следовательно, и скорости движения будут в одном направлении совершать медленный (рабочий) ход, а в другом – быстрый (холостой) [1].

Кулисные механизмы встречаются в приводах движения резания долбежных и поперечно-строгальных станков, они могут быть с качающейся (рисунок 3.9, а) или вращающейся (рисунок 3.9, б) кулисой [1].

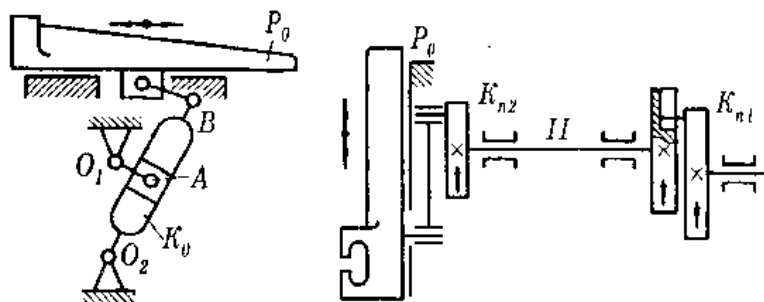


Рисунок 3.9 – Типовые механизмы для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное:

а) кривошипно-кулисный механизм с качающейся кулисой; б) тоже с вращающейся кулисой

Скорость ползуна кривошипно-шатунного или кулисного механизмов величина переменная, но при расчётах оперируют средней скоростью рабочего хода и коэффициентом увеличения скорости. Число двойных ходов в минуту ползуна при заданной скорости рабочего хода определяется [1]:

$$n_{дв.х} = \frac{1}{t_p + t_x} = \frac{V_p}{L(K + 1)}, \quad (3.2)$$

где  $K = V_x/V_p$  – отношение скорости холостого хода к скорости рабочего хода.

### 3.4 Реверсирующие механизмы

Реверсирующие механизмы применяются для изменения направления вращательного или поступательного перемещения. Конструктивно они могут быть механическими, гидравлическими или электрическими [1].

Механическое реверсирование применяется в виде цилиндрических и конических трензелей, червячных и планетарных реверсирующих механизмов (рисунок 3.10) [1].

На рисунке 3.10, а приведён реверсивный механизм (*трензель*) с перекидными шестернями, в котором зубчатое колесо  $z_3$  может соединяться с колесами  $z_1$  и  $z_4$  и передавать одинаковое вращение с ведущего вала  $z_1$  на ведомый  $z_4$ . При перемещении рукоятки влево до упора в зацепление с ведущим колесом  $z_1$  входит зубчатое колесо  $z_3$ , которое обеспечивает прямое вращение ведомого звена  $z_4$  по отношению к ведущему  $z_1$ . При нейтральном положении рукоятки зубчатое колесо  $z_1$  вращается вхолостую и движение на зубчатое колесо  $z_4$  не передаётся. При перемещении рукоятки вправо до упора в зацепление с ведущим колесом  $z_1$  входит зубчатое колесо  $z_2$ , которое обеспечивает обратное вращение ведомого звена  $z_4$  по отношению к ведущему  $z_1$  [1].

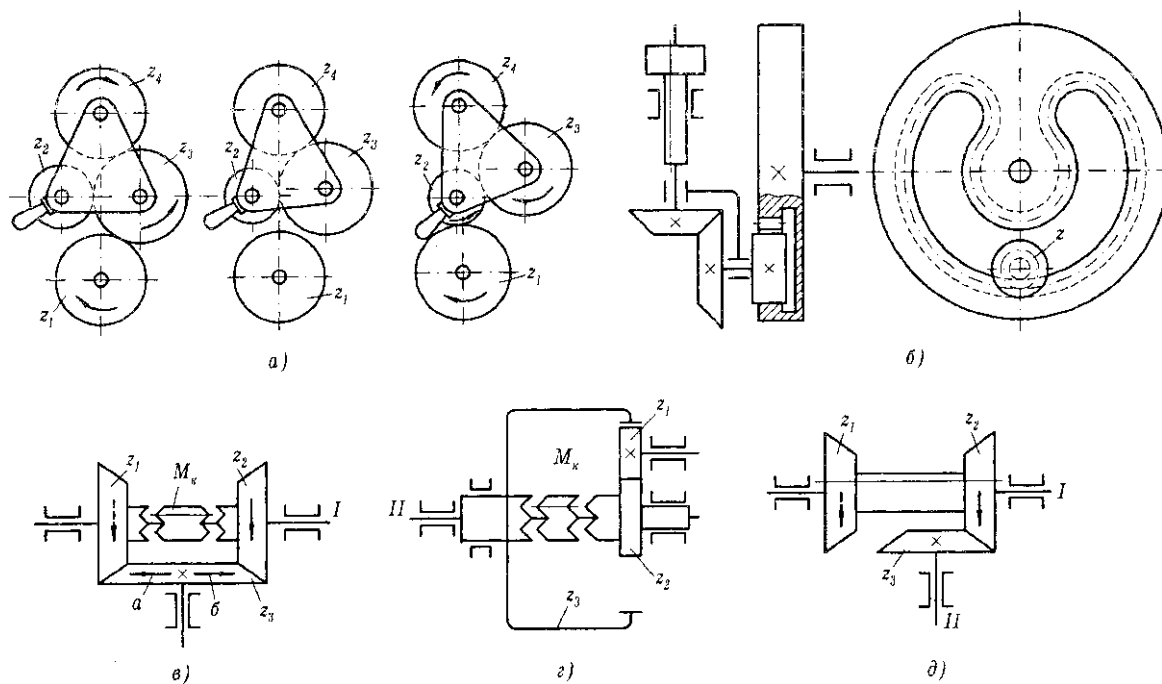


Рисунок 3.10 – Типовые механизмы для реверсирования движений: а) с перекидными шестернями; б) с составным зубчатым колесом, внутреннего и наружного зацепления; в) реверс с двусторонней кулачковой муфтой (конической); г) реверс, имеющий зубчатое колесо с внутренним зацеплением; д) реверс с подвижным блоком шестерен (конический)

На рисунке 3.10, б показан реверсивный механизм, использующий составное зубчатое колесо, в котором ведущая шестерня  $z$  за один полный цикл смещается вдоль радиуса составного колеса с  $C$  – образным зубчатым венцом. Направление вращения составного колеса (ведомое звено) меняется на противоположное (с одновременным изменением угловой скорости) при переходе колеса  $z$  от внешнего зацепления к внутреннему зацеплению или наоборот [1].

На рисунке 3.10, в показана схема реверсивного механизма, составленного из конических зубчатых колёс  $z_1 - z_3$  и кулачковой муфты  $M_K$ , применяемого при наличии пересекающихся валов. Изменение направления вращения горизонтального вала  $I$  производится переключением кулачковой муфты  $M_K$  [1].

Подобный реверсивный механизм приведён на рисунке 3.10, г, у которого кулачковая муфта  $M_K$  меняет направление вращения горизонтального вала  $II$  при переключении. При включении муфты  $M_K$  влево направление движения ведомого вала  $II$  изменяется на противоположное в сравнении с переключением вправо. В последнем случае ведущее колесо  $z_1$  передаёт движение на вал  $I$  через зубчатое колесо  $z_2$  [1].

На рисунке 3.10, д приведён реверсивный механизм между пересекающимися валами  $I$  и  $II$ . Перемещение блока зубчатых колёс  $z_1$  и  $z_2$  влево или вправо меняет направление вращения вала  $II$  на противоположное [1].

### 3.5 Суммирующие механизмы

Механизм, имеющий в своём составе зубчатые колёса с движущимися осями, называется *планетарным*. Такое название механизм получил потому, что одновременное вращение колеса вокруг своей оси и оси неподвижного колеса подобно движению планет вокруг Солнца [1].

Ведущим колесом планетарной передачи является зубчатое колесо 1 (рисунок 3.11). Оно называется центральным или *солнечным*. В зацеплении с ним находится колесо 2, называемое *сателлитом*. Сателлит с солнечным колесом связан водилом 3. Чтобы заставить сателлит обегать вокруг солнечного колеса и тем самым привести в движение водило, сателлит внутренним зацеплением соединяется с зубчатым колесом 4, которое неподвижно закреплено в корпусе механизма и называется неподвижным или *упорным* колесом [1].

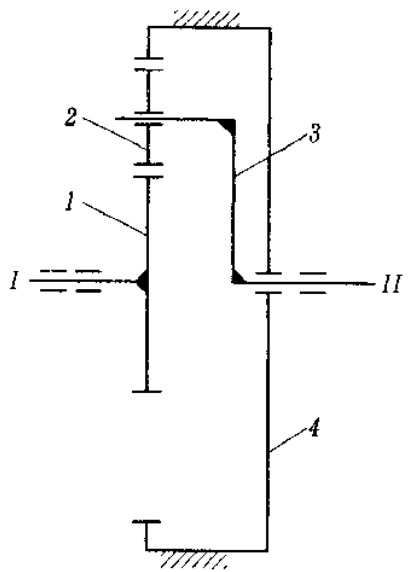


Рисунок 3.11 – Схема планетарной передачи

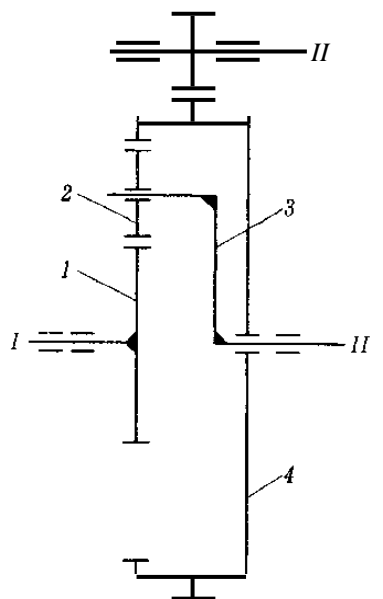


Рисунок 3.12 – Схема дифференциального механизма

Если в рассмотренном механизме освободить упорное колесо, то получится **дифференциальный механизм**. В этом случае движение водила (оно является ведомым) будет результатом сложения двух независимых движений ведущих колёс  $1$  и  $4$  ( см. рисунок 3.12) [1].

Подобные механизмы позволяют не только суммировать два движения в одно, но и, наоборот, передавать движение от одного вала к двум валам при разной их относительной скорости [1].

### 3.6 Обгонные механизмы и муфты

**Муфта обгона роликового типа** (рисунок 3.13, *a*), как и другие механизмы обгона, передает крутящий момент лишь в одном направлении вращения. Она состоит из закрепленного на валу корпуса (звёздочки)  $1$  наружного кольца или втулки  $2$ , связанной или составляющей одно целое с зубчатым или червячным колесом, шкивом и т.п. и несколько роликов  $3$ , помещённых в вырезах корпуса  $1$ . Каждый ролик отжимается одним-тремя, в зависимости от длины ролика, штифтами  $4$  с пружинами  $5$  в направлении к узкой части выемки между деталями  $1$ ,  $2$ . Если, например, ведущей частью является втулка  $2$ , то при её вращении по часовой стрелке ролики увлекаются трением в узкую часть выемки и заклиниваются между втулкой и корпусом муфты. В этом случае корпус  $1$  и связанный с ним вал будут вращаться с угловой скоростью втулки  $2$ . Если при продолжающемся движении втулки  $2$  против часовой стрелки вала и корпусу  $1$  сообщить движение по другой кинематической цепи, направленной в ту же сторону, но имеющей скорость, большую по величине, чем скорость втулки  $2$ , то ролики переместятся в широкую часть выемки и муфта окажется расцепленной. При этом детали  $1$  и  $2$  будут вращаться каждая со своей скоростью [1].

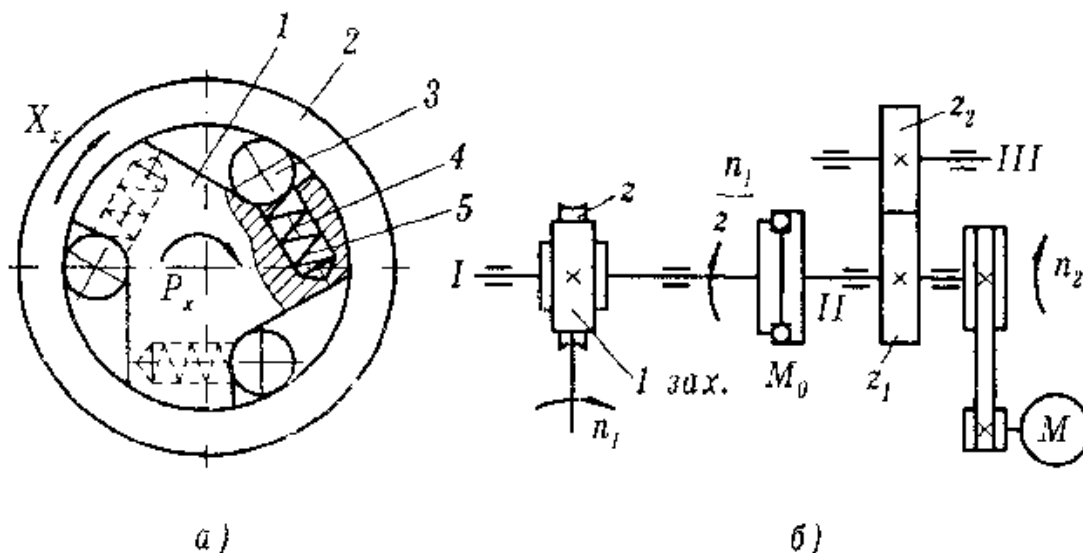


Рисунок 3.13 – Схемы обгонной муфты (*a*) и ее включения в кинематическую цепь станка (*б*)

На рисунке 3.13, *б* показана схема включения обгонной муфты в кинематическую цепь. Вал  $I$  получает вращение через червячную передачу с частотой

вращения  $n_1/z$ . Вал II через механизм обгона  $M_0$  получает частоту вращения тоже  $n_1/z$ , и далее движение передаётся на вал III через зубчатую передачу  $z_1 - z_2$ . При одновременном включении электродвигателя  $M$  вал II получает вращение с частотой  $n_2$  ( $n_2 > n_1/z$ ), и механизм обгона  $M_0$  позволяет (не выключая вращение  $n_1/z$ ) передать частоту вращения  $n_2$  через зубчатую передачу  $z_1 - z_2$  на вал III.

**Муфты** служат для постоянного или периодического соединения двух соосно вращающихся валов и для передачи, при этом крутящего момента от одного вала к другому. Различают муфты постоянные, служащие для постоянного соединения валов (рисунок 3.14, а – з), сцепные для периодического соединения валов, например, в приводе главного движения или приводе подач (рисунок 3.14, д, е).

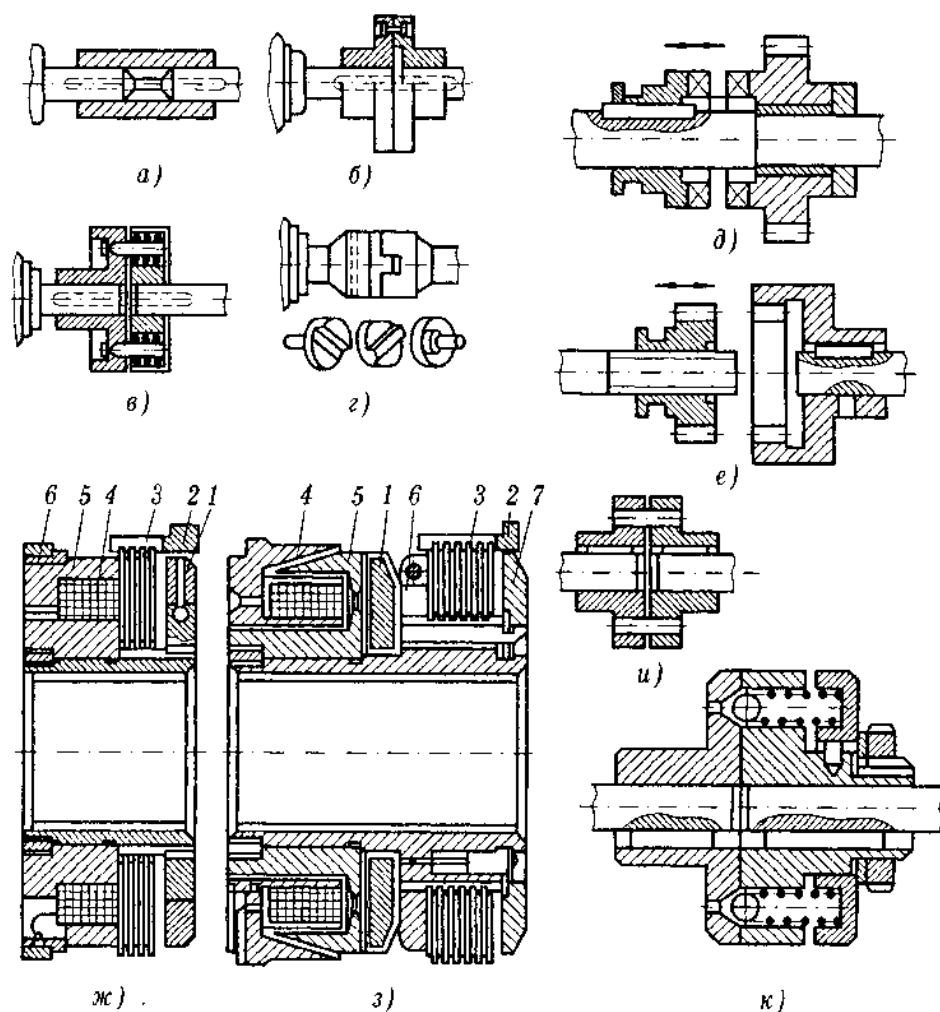


Рисунок 3.14 – Муфты: а) постоянная в виде втулки; б) в виде двух дисков, стянутых болтами; в) упругая; з) подвижная; д) кулачковая; е) зубчатая; ж) дисковая электромагнитная; з) тоже с неподвижной катушкой; и) предохранительная; к) с подпружиненным шариком

**Фрикционные сцепные муфты** не имеют указанного недостатка и могут быть конусные и дисковые (рисунок 3.14, ж, з).

**Дисковые электромагнитные муфты** используют в автоматических коробках передач. Они могут быть контактными и бесконтактными. К контактным муфтам (рисунок 3.14, ж) ток подводится к катушке 4 электромагнита через щётку, поджатую к вращающемуся контактному кольцу 6, ко вторым (рисунок 3.14, з) привод присоединяется к неподвижной катушке.

Различают также **муфты с магнитопроводящими дисками** (рисунок 3.14, ж) и **выносными дисками** (рисунок 3.14, з), которые находятся за пределами магнитного потока (в последних диски сжимаются между регулировочной гайкой 6 и нажимным диском 7, соединённым с якорем 1). Чтобы при выключении диски расходились, их делают волнистыми или пружинящими [1].

**Предохранительные муфты** предназначены для предохранения механизмов станка от аварии при перегрузках (рисунок 3.14, и, к).

Для полной остановки или замедления движения механизмов и шпинделя станка применяются **тормозные устройства** (рисунок 3.15).

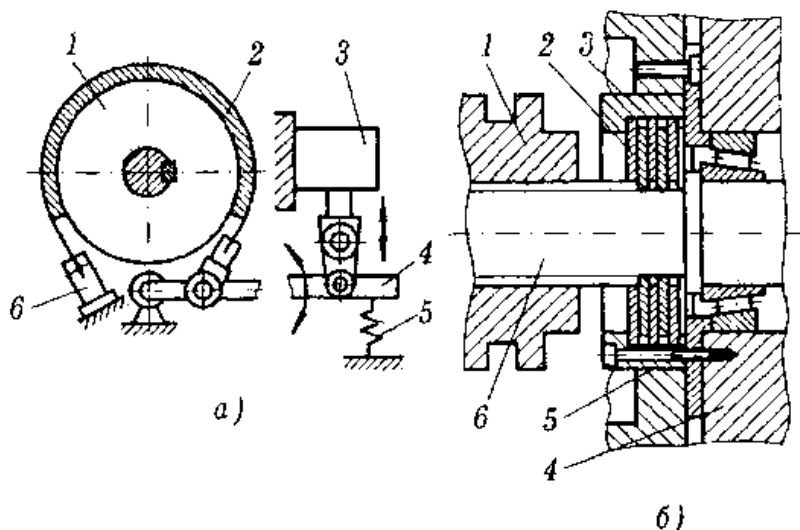


Рисунок 3.15 – Тормоза: а) ленточный; б) дисковый

Обычно применяют **электрохимические тормоза**, в которых трущиеся детали сжимаются или разжимаются с помощью электромагнитов.

В **ленточном тормозе** (рисунок 3.15, а) диск 1 охвачен металлической лентой 2, внутренняя поверхность которой несёт слой антифрикционного материала, например асбеста. Один конец ленты заделан в неподвижной детали, а другой – прикреплен к рычагу 4.

Пружина 5 тянет рычаг и стремится повернуть его по часовой стрелке, затягивая ленту тормоза. Электромагнит 3 при включении поворачивает рычаг в противоположную сторону, освобождая ленту.

Особенно широко распространены **дисковые тормоза** (рисунок 3.15, б), в качестве которых применяют фрикционные муфты, замкнутые на корпус. Подвижные диски 2, соединённые шлицами с валом 6, чередуются с неподвижными дисками 3, которые соединены с кольцом 5, привёрнутым к корпусу 4. Диски сжимают втулкой 1. Наибольшее применение получили многодисковые электромагнитные тормоза [1].

### 3.7 Типовые механизмы для бесступенчатого изменения скорости движения

**Электрическое регулирование** производится изменением частоты вращения электродвигателя, который приводит в движение соответствующую цепь станка [1].

**Механическое регулирование** осуществляется с помощью **механических вариаторов**. Большинство механических вариаторов, применяемых в станках, – фрикционные (рисунок 3.16) [1].

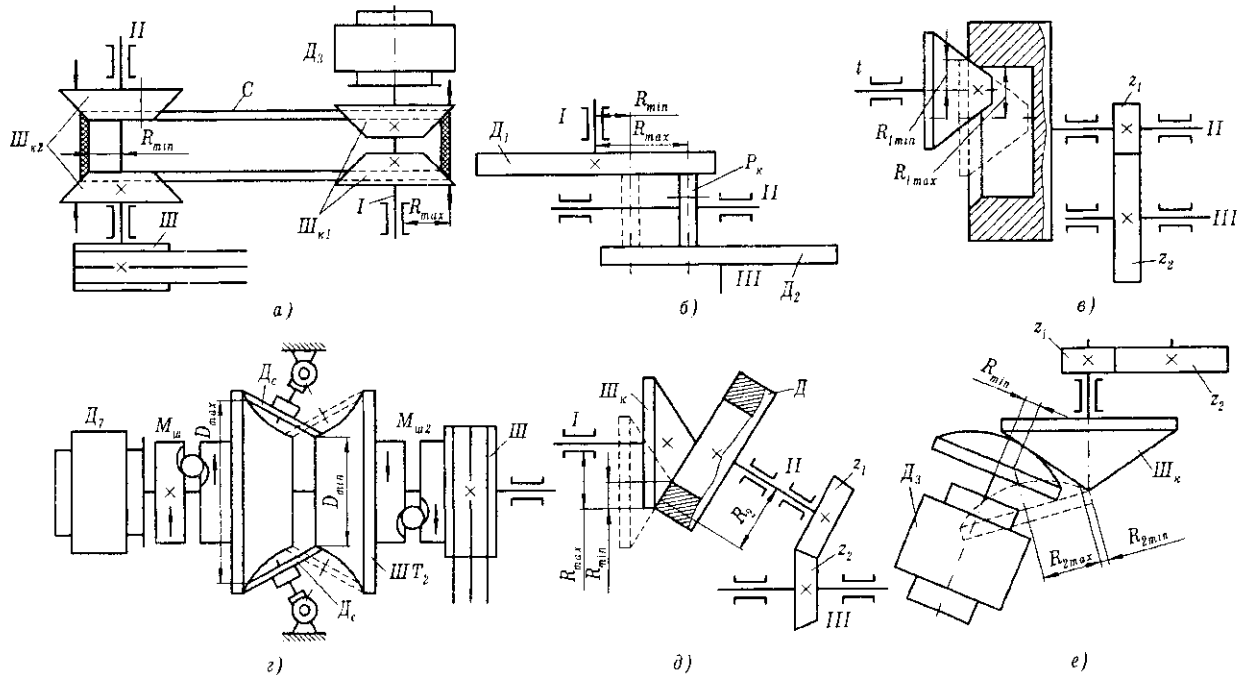


Рисунок 3.16 – Типовые механизмы для бесступенчатого изменения скорости движения:

- а) конические раздвижные шкивы; б) двойная торцевая фрикционная передача;
- в) механизм с коническим цилиндром; г) торроидальный вариатор В.А. Светозарова; д) торцеконический вариатор; е) сфероконический вариатор

На рисунке 3.16, а приведён вариатор, у которого конусы ведущего *I* и ведомого *II* валов соединены широким клиновым ремнём *C*. Конусы *III<sub>K1</sub>* передвигаются в осевом направлении рычажным механизмом управления (на схеме не показан), левый конус *III<sub>K2</sub>* также подвижен вдоль оси и поджат к ремню.

При сближении ведомых конусов ремень передвигается к большему их радиусу  $R_{max}$ , одновременно раздвигая ведущие конусы и переходя на меньший их радиус  $R_{min}$ . В результате при постоянной частоте вращения ведущего вала уменьшается частота вращения ведомого вала [1]:

$$n_2 = n_1 R_{max} / R_{min} . \quad (3.3)$$

Двойная торцевая фрикционная передача (рисунок 3.16, б) передаёт вращение с ведущего диска  $D_1$  на ведомый  $D_2$  с помощью фрикционных роликов  $P_K$ , имеющих возможность осевого смещения между ними. Изменяя расстояние



между параллельными осями дисков, они обеспечивают бесступенчатое регулирование частоты вращения ведомого диска. При перемещении малого ведущего ролика  $P_K$  изменяется рабочий радиус и, следовательно, передаточное отношение между ведущим и ведомым валами [1].

На рисунке 3.16, в приведён механизм с коническо-цилиндрическими шкивами. При осевом перемещении конического колеса изменяется величина его радиуса по отношению к постоянному радиусу у цилиндрического шкива. В результате изменяется частота вращения ведомого звена [1].

В торроидальном вариаторе (Светозарова В.А.) движение от ведущей чашки к ведомой (рисунок 3.16, г) передаётся диском  $D_C$ . При изменении осей наклона дисков меняются радиусы контакта дисков с обеими чашками. При увеличении  $D_{max}$  уменьшается  $D_{min}$ , что ведёт к увеличению передаточной величины и, следовательно, частоты вращения ведомой чашки [1].

На рисунке 3.16, д показан торцеконовый вариатор, принцип которого такой же, как и у предыдущего вариатора (рисунок 3.16, в). Изменение частоты вращения ведомого вала осуществляется путём смещения конической поверхности по торцовой [1].

У торцевого вариатора (например, сфероконического) передаточное отношение зависит от наклона сферы (рисунок 3.16, е), при повороте которой изменяются радиусы контакта с ведущей и ведомой фрикционными чашками [1].

Кроме перечисленных выше способов бесступенчатого регулирования скорости перемещения рабочих органов металлорежущих станков, также применяется Гидравлическое и пневматическое регулирование.

**Гидравлическое регулирование** применяют, главным образом, для регулирования скоростей прямолинейных движений, значительно реже – для регулирования вращательных движений [1].

**Пневматическое регулирование** не обеспечивает возможности настройки и поддержания постоянства скорости движения, поэтому он применяется для перемещения вспомогательных рабочих органов и звеньев механизмов зажимных устройств [1].

Более подробную информацию о гидравлических и пневматических приводах металлорежущих станков можно найти в источниках [1 – 6].

## 4 МЕТОДИКА АНАЛИЗА И НАСТРОЙКИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

### 4.1 Общая последовательность анализа и настройки металлорежущих станков

Для кинематического расчёта настройки и анализа кинематических цепей необходимо [1]:

- расшифровать анализируемую модель станка;
- составить схему обработки (например, на токарном станке, рисунок 4.1);
- определить назначение каждой анализируемой кинематической цепи по схеме обработки;
- записать названия всех анализируемых цепей;
- определить, с помощью каких звеньев, кинематических пар и механизмов, а также в какой последовательности передаётся движение от ведущего к ведомому звену кинематической цепи;
- выяснить возможности анализируемых кинематических цепей (с точки зрения количества скоростей движения ведомого звена).

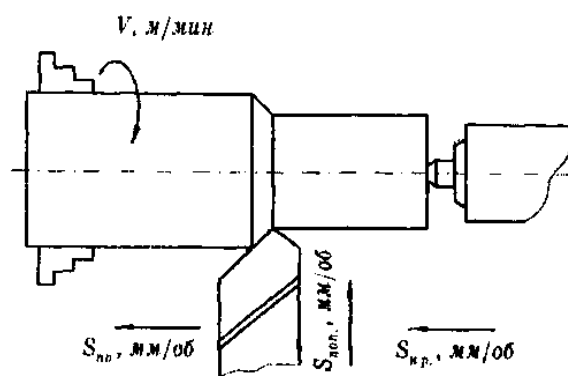


Рисунок 4.1 – Схема обработки детали на токарно-винторезном станке

Содержание и последовательность анализа кинематических цепей:

- а) определить количество кинематических цепей и их назначение;
- б) установить ведущие и ведомые звенья каждой кинематической цепи;
- в) по анализируемой кинематической схеме проследить за последовательностью передачи движения от ведущего к ведомому валом и уяснить, какие звенья, кинематические пары и механизмы участвуют в передаче движения и какое их назначение.

### 4.2 Анализ и настройка цепи главного движения

Разнообразные варианты передачи движения от ведущего звена к ведомому для токарно-винторезного станка (рисунок 4.2) записываются условно в виде формулы кинематических связей [1]:

$$n_{\text{Э.ДВ.}} \rightarrow \frac{d_1}{d_2} I \begin{matrix} |z_1| \\ |z_2| \\ |z_3| \\ |z_4| \end{matrix} II \rightarrow \begin{matrix} |z_5| \\ |z_6| \\ |z_7| \\ |z_8| \\ |z_9| \\ |z_{10}| \end{matrix} \xrightarrow{III} \begin{matrix} |z_{13}| \\ |z_{14}| \\ |z_{15}| \\ |z_{16}| \end{matrix} M_1 M_2 IV \rightarrow \begin{matrix} |z_{17}| \\ |z_{18}| \\ |z_{19}| \\ |z_{20}| \end{matrix} V \rightarrow \begin{matrix} |z_{21}| \\ |z_{22}| \end{matrix} VI \rightarrow n_{\text{ун.}} \quad (4.1)$$

$\xleftarrow{\frac{z_{11}}{z_{12}} M_1 M_2}$

Количество ступеней скоростей движения ведомого вала равно произведению количества пар зубчатых колёс, участвующих в передаче движения между валами [1]:

$$K_n = P_{I-II} P_{II-III} \cdots P_{(m-1)-m}, \quad (4.2)$$

где  $P_{I-II}$  и т.д. – количество пар зубчатых колёс, участвующих в передаче движения соответственно между I и II валами и т.д.;  $K_n$  – количество ступеней скоростей движения ведомого звена кинематической цепи. Выражение (4.2) называется структурной формулой, которая аналитически выражает количество ступеней скоростей движения ведомого звена кинематической цепи многоступенчатой коробки передач.

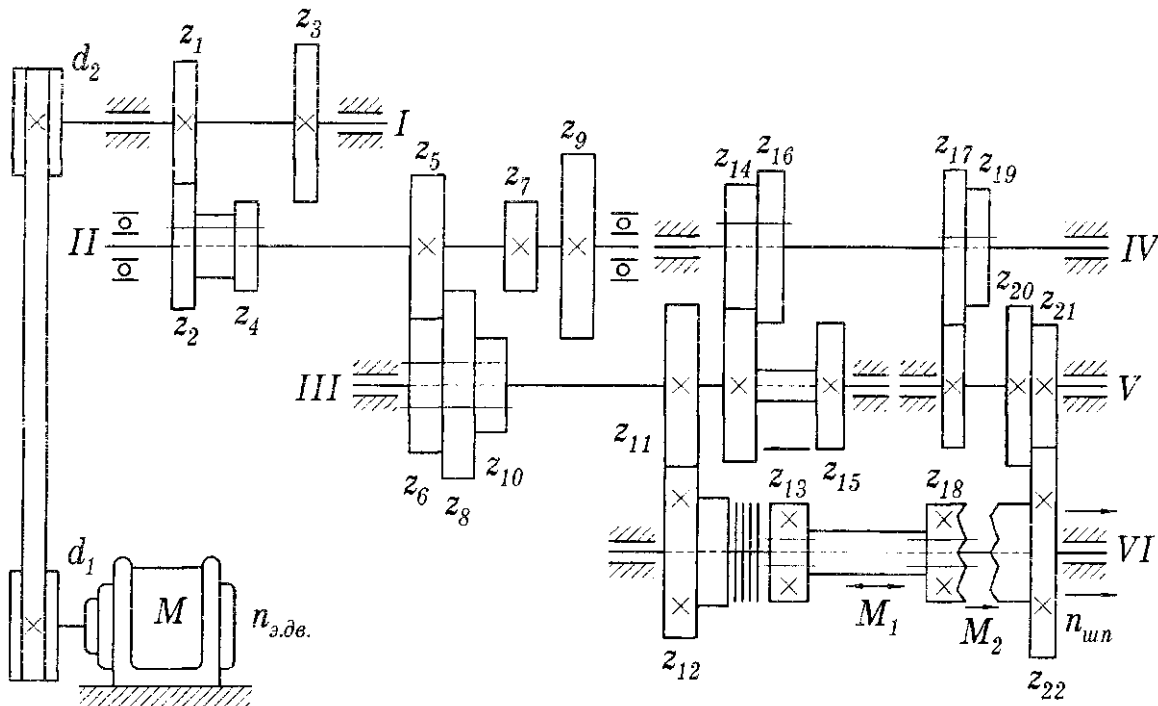


Рисунок 4.2 –Анализируемая схема коробки скоростей токарно-винторезного станка

В рассматриваемом примере (рисунок 4.2) структурная формула для короткой цепи без переборной группы имеет вид [1]:

$$K_{n1} = P_{\text{Э.ДВ.-I}} \cdot P_{I-II} \cdot P_{II-III} \cdot P_{III-VI} \text{ (шп.)}, \quad (4.3)$$

или по формуле кинематических связей (4.1) для короткой цепи [1]:

$$P_{\text{Э.ДВ.-I}} = 1; P_{\text{I-II}} = 2; P_{\text{II-III}} = 3; P_{\text{III-VI}} = 1,$$

тогда

$$K_{n1} = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1 = 6.$$

Для протяжённой цепи (с переборной группой) [1]:

$$K_{n2} = P_{\text{Э.ДВ.-I}} \cdot P_{\text{I-II}} \cdot P_{\text{II-III}} \cdot P_{\text{III-IV}} \cdot P_{\text{IV-V}} \cdot P_{\text{V-VI}} \text{ (шп.)}, \quad (4.4)$$

где

$$P_{\text{Э.ДВ.-I}} = 1; P_{\text{I-II}} = 2; P_{\text{II-III}} = 3; P_{\text{III-IV}} = 2; P_{\text{IV-V}} = 2; P_{\text{V-VI}} = 1,$$

тогда

$$K_{n2} = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1 = 24.$$

Общее количество ступеней чисел оборотов шпинделя [1]:

$$K_{n.ум.} = K_{n1} + K_{n2}, \quad (4.5)$$

или в анализируемой цепи (рисунок 4.2)  $K_{n.ум.} = 6 + 24 = 30$ .

По структурной формуле определим количество валов [1]:

$$K_B = K_P + 1, \quad (4.6)$$

или для короткой цепи  $K_{B1} = 3 + 1 = 4$ ;

где  $K_P$  – количество кинематических пар. Для цепи с перебором  $K_{B2} = 5 + 1 = 6$ .

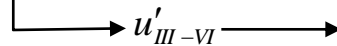
Составим уравнение кинематического баланса, аналитически увязывающее между собой скорости движения ведущего и ведомого звеньев кинематической цепи через общее передаточное число цепи.

Общее передаточное число кинематической цепи записывается в следующем виде [1]:

$$u'_{\text{ОБЩ}} = u'_{\text{I-II}} u'_{\text{II-III}} \dots u'_{(m-1)-m}, \quad (4.7)$$

В рассматриваемом примере для цепи скоростей можно записать [1]:

$$u'_{\text{ОБЩ}} = u'_{\text{ОБЩ.Э.ДВ.-I}} u'_{\text{I-II}} u'_{\text{II-III}} u'_{\text{III-IV}} u'_{\text{IV-V}} u'_{\text{V-VI}}, \quad (4.8)$$



Если в формулу кинематических связей (4.1) подставить конкретные значения промежуточных передаточных чисел, то получим 30 различных значений общего передаточного числа [1]:

$$u'_{\text{ОБЩ}} = \frac{d_1}{d_2} \begin{vmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \\ z_5 \\ z_6 \\ z_7 \\ z_8 \\ z_9 \\ z_{10} \end{vmatrix} \xrightarrow{M_1 M_2} \begin{vmatrix} z_{11} \\ z_{12} \end{vmatrix} \rightarrow \rightarrow n_{ум.} \quad (4.9)$$

Общее передаточное число кинематической цепи состоит из постоянной части ( $u'_{const}$ ) и переменной ( $u'_{ПЕР}$ ), за счёт которой осуществляется изменение скоростей движения ведомого звена, или [1]:

$$u'_{ОБЩ1} = u'_{const1} u'_{ПЕР}; \quad u'_{const1} = \frac{d_1}{d_2} \frac{z_{11}}{z_{12}} \quad (\text{без перебора}), \quad (4.10)$$

$$u'_{ОБЩ2} = u'_{const2} u'_{ПЕР}; \quad u'_{const2} = \frac{d_1}{d_2} \frac{z_{21}}{z_{22}} \quad (\text{с перебором}). \quad (4.11)$$

Общее передаточное число кинематической цепи выражается через число оборотов, которое представляет собой отношение числа оборотов ведомого звена цепи к числу оборотов ведущего звена [1]:

$$u'_{ОБЩ} = n_{ВЕДОМ} / n_{ВЕДУЩ}. \quad (4.12)$$

В рассматриваемом случае  $u'_{ОБЩ} = n_{ШП} / n_{ДВ}$ .

Выражая число оборотов шпинделя через произведение общего передаточного числа и числа оборотов вала электродвигателя, получим уравнение кинематического баланса для анализируемой цепи скоростей [1].

$$n_{ШП} = n_{Э.ДВ} \cdot u'_{ОБЩ.Ц.С.} \quad (4.13)$$

Определяя число оборотов шпинделя через общее передаточное число и число оборотов вала электродвигателя, получим ряд конкретных чисел оборотов шпинделя [1].

Важной характеристикой кинематической цепи является **диапазон скоростей** движения ведомого звена, который определяется как отношение максимального числа оборотов шпинделя к минимальному [1]:

$$D_n = \frac{n_{ШП. \max}}{n_{ШП. \min}}. \quad (4.14)$$

### 4.3 Анализ и настройка кинематических цепей подачи станка

Как было установлено, для осуществления метода точения (на токарно-винторезных станках) в соответствии со схемой обработки (рисунок 4.1) необходимо осуществить два основных движения: главное движение и движение подачи [1].

При этом по структурной схеме токарно-винторезного станка (рисунок 4.3) формула кинематических связей для цепи скоростей будет иметь следующий вид [1]:

$$n_{Э.ДВ} \rightarrow u'_{ОБЩ} \rightarrow u'_{К.С.1} \rightarrow u'_{ПЕР} \rightarrow n_{ШП.}, \quad (4.15)$$

$$\downarrow \rightarrow u'_{К.С.2} \uparrow$$

а уравнение кинематического баланса запишется [1]:

$$n_{ШП.} = n_{Э.ДВ} \cdot u'_{ОБЩ.Ц.С.}, \quad (4.16)$$

На токарно-винторезном станке можно осуществлять продольное точение ( $S_{ПР}$ , мм/об), поперечное точение ( $S_{ПОП.}$ , мм/об) и нарезание резьб ( $S_{Н.Р.}$ , мм/об). При продольном точении передача движения от шпинделя на суппорт

осуществляется по цепи с ведомым звеном – реечным колесом (рисунок 4.3) [1].

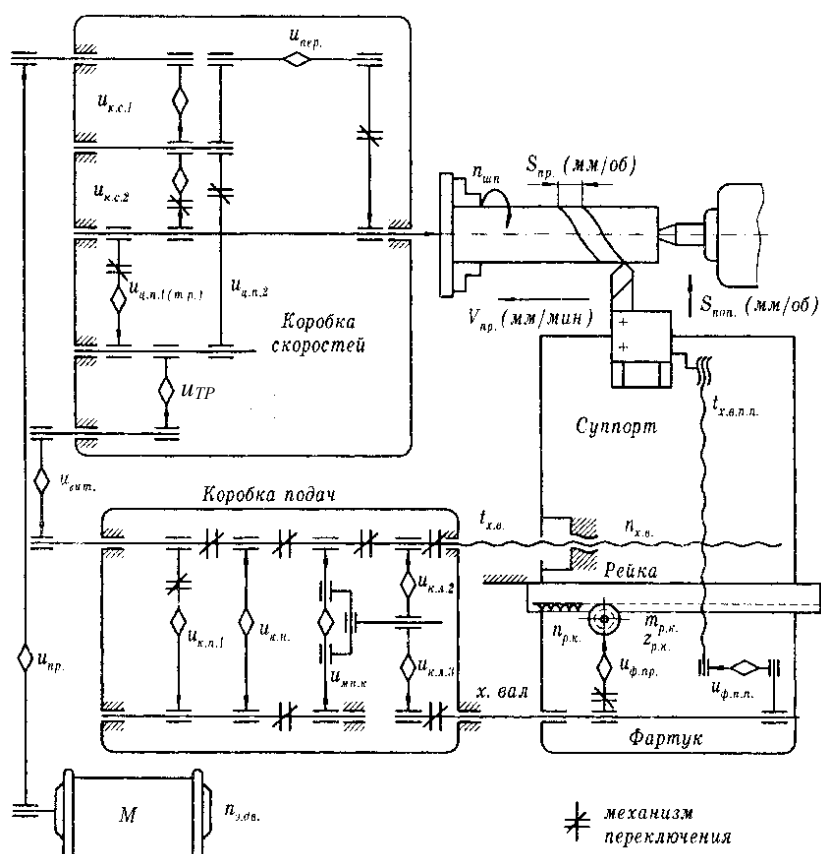


Рисунок 4.3 – Структурная схема токарно – винторезного станка

Перемещение поперечных салазок суппорта осуществляется от ходового винта поперечной подачи ( $t_{Х.В.П.П.}$ ). При нарезании резьбы перемещение суппорта осуществляется от ходового винта ( $t_{Х.В.}$ ). При нарезании резьб повышенной точности необходимо, чтобы цепь подач была наиболее короткой, т.е. включала в себя наименьшее количество промежуточных механизмов. Поэтому в цепи подач предусмотрена возможность передачи движения от шпинделя, минуя коробку подач, т.е. движение передаётся от гитары сменных зубчатых колёс на ходовой винт. Это позволяет не только повысить точность обработки, но и осуществлять настройку цепи подач при нарезании резьб по шагу, отличному от нормального, т.е. нарезать точные и специальные резьбы [1].

В связи с тем, что на практике приходится изготавливать резьбы различного типа (метрическую, дюймовую, модульную и питчевую), гитара сменных зубчатых колёс и коробка подач настраивается также в зависимости от типа нарезаемой резьбы [1].

В частности, конус Нортона коробки подач ( $U_{К.Н.}$ ) может быть ведущим ( $z_{К.Н.}/z$ ) или ведомым ( $z/z_{К.Н.}$ ) по отношению к последующим механизмам цепи подач (рисунок 4.3) [1].

Перечисленные особенности цепи подач должны быть отражены в формуле кинематических связей [1]:



По аналогии с предыдущим выражением скорость суппорта через известные параметры ( $t_{X.B.П.П.}$ ,  $S_{П.П.}$ ) запишется в виде [1]:

$$V = S_{П.П.} \cdot n_{ШП} = n_{X.B.П.П.} \cdot t_{X.B.П.П.}, \quad (4.23)$$

или

$$n_{X.B.П.П.} / n_{ШП} = S_{П.П.} / t_{X.B.П.П.}. \quad (4.24)$$

Уравнение кинематического баланса для цепи поперечной подачи [1]:

$$S_{П.П.} = t_{X.B.П.П.} \cdot u'_{ОБЩ.Ц.П.П.}. \quad (4.25)$$

При настройке кинематической цепи подач исходными данными являются величина подачи  $S$  мм/об и шаг ходового винта  $t_{X.B.П.П.}$ . Исходя из содержания общего передаточного числа цепи поперечной подачи (рисунок 4.3) можно записать [1]:

$$u'_{ОБЩ.Ц.П.П.} = \left\{ \begin{matrix} u'_{ПЕР.} u'_{Ц.П.2} \\ u'_{Ц.П.1} \end{matrix} \right\} u'_{ТР.} u'_{ГИТ.} \left\{ \begin{matrix} u'_{К.П.1} u'_{К.Н.} \\ u'_{К.Н.} \end{matrix} \right\} u'_{М.Н.} \left\{ \begin{matrix} u'_{К.П.2} \\ u'_{К.П.1} u'_{Ф} \end{matrix} \right\}, \quad (4.26)$$

откуда можно сделать заключение, что в зависимости от вида обработки содержание общего передаточного числа различное. Определяя из уравнения кинематического баланса цепи подач общее передаточное число, подбирают значения промежуточных передаточных чисел механизмов настройки.

### Резьбонарезная цепь

Рассмотрим настройку цепи подач для нарезания метрической резьбы нормального шага  $S_P$ , мм. Из уравнения кинематического баланса цепи подач [1]

$$S_P = t_{X.B.} \cdot u'_{ОБЩ.Ц.П.}. \quad (4.27)$$

Отсюда общее передаточное число:

$$u'_{ОБЩ.Ц.П.} = S_P / t_{X.B.}, \quad (4.28)$$

тогда

$$u'_{ОБЩ.Ц.П.} = u'_{Ц.П.1} \cdot u'_{ТР.} \cdot u'_{ГИТ.} \cdot u'_{К.П.1} \cdot u'_{К.Н.} \cdot u'_{М.М.} \cdot u'_{К.П.2}, \quad (4.29)$$

При этом постоянной частью общего передаточного числа будут [1]:

$$u'_{Ц.П.1} \cdot u'_{ТР.} \cdot u'_{ГИТ.} \cdot u'_{К.П.1} \cdot u'_{К.П.2} = A. \quad (4.30)$$

Тогда

$$u'_{ОБЩ.Ц.П.} = A \cdot u'_{К.Н.} \cdot u'_{М.М.} = S_P / t_{X.B.}. \quad (4.31)$$

Следовательно, кинематическая цепь подач в рассматриваемом примере настраивается за счёт конуса Нортон ( $u'_{К.Н.}$ ) и множительного механизма ( $u'_{М.М.}$ ). Определяем значение неизвестных передаточных чисел [1]:

$$u'_{К.Н.} \cdot u'_{М.М.} = S_P / A \cdot t_{X.B.}. \quad (4.32)$$

Расчёт погрешности настройки производится по формуле [1]:

$$Q_i = (u'_{СТ.} \cdot u'_{РАСЧ.} / u'_{СТ.}) \cdot 100\%, \quad (4.33)$$

где  $u'_{СТ.}$  – ближайшее значение по паспорту станка;  $u'_{РАСЧ.}$  – расчётное передаточное число. При этом абсолютная погрешность составит [1]:

$$\Delta S = S_P - S_{P.СТ.}. \quad (4.34)$$



Относительная погрешность определяется из зависимости [1]:

$$Q = ((S_P - S_{P.СТ.}) / S_P) \cdot 100\% . \quad (4.35)$$

Рассмотрим часто встречающиеся случаи настройки цепи за счёт гитары сменных шестерен на примере нарезания резьбы нестандартного шага (рисунок 4.3). Уравнение кинематического баланса для рассматриваемого случая имеет вид [1]:

$$S_P = t_{X.B.} \cdot u'_{ОБЩ.Ц.П.} = t_{X.B.} \cdot u'_{Ц.П.1} \cdot u'_{ТР.} \cdot u'_{ГИТ.} . \quad (4.36)$$

где  $u'_{Ц.П.1} = 1$ ;  $u'_{ТР.} = 1$ .

Следовательно,  $S_P = t_{X.B.} \cdot u'_{ГИТ.}$ , откуда  $u'_{ГИТ.} = S_P / t_{X.B.}$ .

В общем случае гитара настраивается за счёт четырёх зубчатых колёс [1]:

$$u'_{ГИТ.} = \frac{z_1 z_3 S_P}{z_2 z_4 t_{X.B.}} . \quad (4.37)$$

**Пример** [1]. Нарезать дюймовую резьбу 1" (число ниток на 1 дюйм резьбы  $K = 10$ ). Шаг ходового винта равен 5 мм. Тогда  $u'_{ГИТ.} = S_{P.СТ.} / t_{X.B.}$ ;  $S_{P.СТ.} = 25,4 / K$ ;  $u'_{ГИТ.} = 25,4 / K \cdot t_{X.B.} = 25,4 / (10 \cdot 5) = 0,50800$ .

Расчет передаточного числа ведётся с точностью до пятого знака. Величине  $u'_{ГИТ.} = 0,50800$  соответствует простая дробь 95/187. Разлагаем числитель и знаменатель на простые множители и преобразуем числа так, чтобы они соответствовали числу зубьев следующего набора [1]:

$$\frac{95}{187} = \frac{5 \cdot 19}{11 \cdot 17} = \frac{50 \cdot 95}{110 \cdot 85} = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} . \quad (4.38)$$

Подсчитаем числа зубьев зубчатых колес и проверим на условие зацепляемости [1].

$$(z_1 + z_2) - (15 \div 20) \geq z_3; (z_3 + z_4) - (15 \div 20) \geq z_2 . \quad (4.39)$$

И если эти условия не соблюдены, берут другие сочетания чисел зубьев зубчатых колёс без изменения значения исходного передаточного числа [1].

Абсолютная погрешность определяется из соотношения (4.34).

Полученный расчетом шаг резьбы  $S_P = t_{X.B.} \cdot u'_{ГИТ.} = 5 \cdot (50 \cdot 95) / (110 \cdot 85) = 2,54016$ .

Следовательно:  $\Delta S = 2,54016 - 2,54 = 0,00016$  мм. Погрешность на 1 м нарезаемой резьбы составит:

$$\Delta S(м) = 1000 \cdot \Delta S / S_{P.СТ.} = 1000 \cdot 0,00016 / 2,54 = 0,0629 \text{ мм.}$$

Полученная величина сравнивается с допустимой погрешностью технических условий на точность изготовления [1].

## 5 МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

### 5.1 Расчет и построение кинематической схемы коробки скоростей токарного станка по заданной структурной формуле

Для кинематического расчёта и разработки кинематической схемы станка применяют два метода: аналитический и графоаналитический [1].

**Графоаналитический метод расчёта** [1].

Расчет начинается с анализа структурной формулы кинематической цепи. Как уже говорилось ранее (п. 4), **структурная формула** (4.2) – это абстрактная модель, показывающая количество групп, их порядок и характеристику.

Проанализируем заданную структурную формулу, общее уравнение которой запишется [1]:

$$K_n = P_{I-II} \cdot P_{II-III} \cdot P_{III-IV} \cdot \dots \cdot P_{(m-1)-m}, \quad (5.1)$$

где  $K_n$  – количество ступеней скоростей движения ведомого звена кинематической цепи;  $P_{I-II}$  и т.д. – количество пар зубчатых колёс, участвующих в передаче движения между  $I$  и  $II$  валами, а также между  $II-III$ ,  $III$  и  $IV$  и т.д.

Рассмотрим структурную формулу  $K_n = 3 \cdot 2 \cdot 2$ , у которой первая цифра обозначает основную группу передач, остальные называются переборными. К основной группе относится передача 1-й группы, но в качестве основной может выступать любая группа [1].

Определяем количество ступеней чисел оборотов шпинделя по заданной структурной формуле [1]:

$$K_n = 3 \cdot 2 \cdot 2 = 12.$$

По выражению (4.6) определяем количество валов, участвующих в передаче [1]:

$$K_B = K_P + 1 = 3 + 1 = 4,$$

где  $K_P$  – количество передач в цепи.

Помимо структурной формулы должны быть известны: максимальное  $n_{\max}$  или минимальное  $n_{\min}$  число оборотов или подач, диапазон скоростей движения  $R$ , а также знаменатель ряда скоростей  $\varphi$ , который принимается равным одному из значений ряда: 1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78 и 2 [2]. Если известны максимальное  $n_{\max}$  и минимальное  $n_{\min}$  числа оборотов в минуту шпинделя, а также количество  $K_n$  его скоростей, то знаменатель ряда  $\varphi$  для данного привода может быть определен по формуле [2]

$$\varphi = K_n^{-1} \sqrt{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}}. \quad (5.2)$$

Величина передаточного числа в группах зависит от количества и характеристики групп и знаменателя ряда  $\varphi$ . При этом отношение наибольшего передаточного числа к наименьшему (в пределах одной группы) должно удовлетворять следующему условию [1]:

$$(u'_{\max} / u'_{\min})_{\text{ПРЕД.}} = \frac{2}{1/4} = 8, \text{ т.е. } 1/4 \leq u' \leq 2. \quad (5.3)$$

Отношение  $(u'_{\max} / u'_{\min})_{\text{ПРЕД.}}$  имеет наибольшую величину для последней переборной группы привода, следовательно, для коробок скоростей можно записать [1]:

$$(u'_{\max} / u'_{\min}) = \frac{2}{1/4} = \varphi^{(P-1)X_{\max}} \leq 8, \quad (5.4)$$

где  $X_{\max}$  – наибольший показатель (характеристика) последней переборной группы;  $P$  – число передач в этой группе.

Для заданной структурной формулы  $K_n = 3 \cdot 2 \cdot 2$  основная группа является первой, и её основное отличие от переборных групп заключается в том, что на последнем валу ряд чисел оборотов имеет знаменатель геометрической прогрессии, равный знаменателю ряда последнего ведомого вала передачи –  $\varphi$ . На третьем валу значение числа оборотов отличается на  $\varphi^3$ ; то есть если в общем случае [1]:

$$K_n = P_{\text{ОСН.2}} \cdot P_{n1\ 3} \cdot P_{n2\ 4} = 3 \cdot 2 \cdot 2,$$

то основная группа даёт на II-м валу ряд со знаменателем  $\varphi^1$ ; 1-я переборная группа ( $P_{n1}$ ) на III-м валу даёт ряд со знаменателем  $\varphi^{P_{\text{ОСН.2}}} = \varphi^3$ ; 2-я переборная группа ( $P_{n2}$ ) на IV-м валу даёт ряд со знаменателем  $\varphi^{P_{\text{ОСН.2}}P_{n1\ 3}} = \varphi^{3 \cdot 2} = \varphi^6$  и т.д.

Структурную формулу, уточняющую кинематический порядок, запишем в следующем виде [1]:

$$K_{n1} = 3(\varphi^1) \cdot 2(\varphi^3) \cdot 2(\varphi^6)$$

или

$$K_{n1} = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6). \quad (5.5)$$

Здесь место группы в формуле показывает конструктивный порядок и номер группы, а показатель степени при  $\varphi$  её характеристику [1].

Для принятого конструктивного решения привода возможно три варианта структурной формулы [1]:

$$K_{n1} = 3 \cdot 2 \cdot 2 = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6);$$

$$K_{n2} = 3 \cdot 2 \cdot 2 = 2 \cdot 2 \cdot 3 = 3(4) \cdot 2(2) \cdot 2(1);$$

$$K_{n3} = 3 \cdot 2 \cdot 2 = 2 \cdot 3 \cdot 2 = 3(2) \cdot 2(1) \cdot 2(6).$$

В первом случае основной группой будет первая (в конструктивном отношении). Первой переборной – вторая группа, второй переборной – третья. Во втором случае основная группа будет третья в конструктивном отношении; в третьем – средняя группа является основной [1].

## 5.2 Построение структурной сетки и графика чисел оборотов

Построение структурной сетки (рисунок 5.1) выполним для двух вариантов структурных формул  $K_{n1} = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6)$  и  $K_{n2} = 2(1) \cdot 2(2) \cdot 3(4)$ . При построении структурной сетки изображаются вертикальные линии (соответствующие

валам кинематической цепи), отстоящие друг от друга на равном произвольном расстоянии. На крайней правой вертикали, соответствующей последнему валу передачи, откладываются значения ступеней чисел оборотов в логарифмической шкале [1].

В связи с этим расстояние между отдельными значениями чисел оборотов ряда будут одинаковы и равны  $\varphi^1$ , т.к. [1]

$$n_2 = n_1 \cdot \varphi; n_3 = n_1 \cdot \varphi^2; n_4 = n_1 \cdot \varphi^3; n_5 = n_1 \cdot \varphi^4 \text{ и т.д. } n_z = n_1 \cdot \varphi^{z-1}. \quad (5.6)$$

После логарифмирования:

$$\lg n_2 = \lg n_1 + \lg \varphi; \lg n_3 = \lg n_1 + 2 \cdot \lg \varphi \text{ и т.д. } \lg n_z = \lg n_1 + (z-1) \cdot \lg \varphi, \quad (5.7)$$

откуда 
$$\lg n_z - \lg n_{(z-1)} = \lg \varphi = const. \quad (5.8)$$

Начиная с нижнего значения чисел оборотов, по вертикали откладываются равные отрезки в произвольном масштабе, и через их концы проводятся горизонтальные линии по количеству ступеней чисел оборотов [1].

На рисунке 5.1 построены сетки для структурных формул  $K_{n1}$  и  $K_{n2}$ .

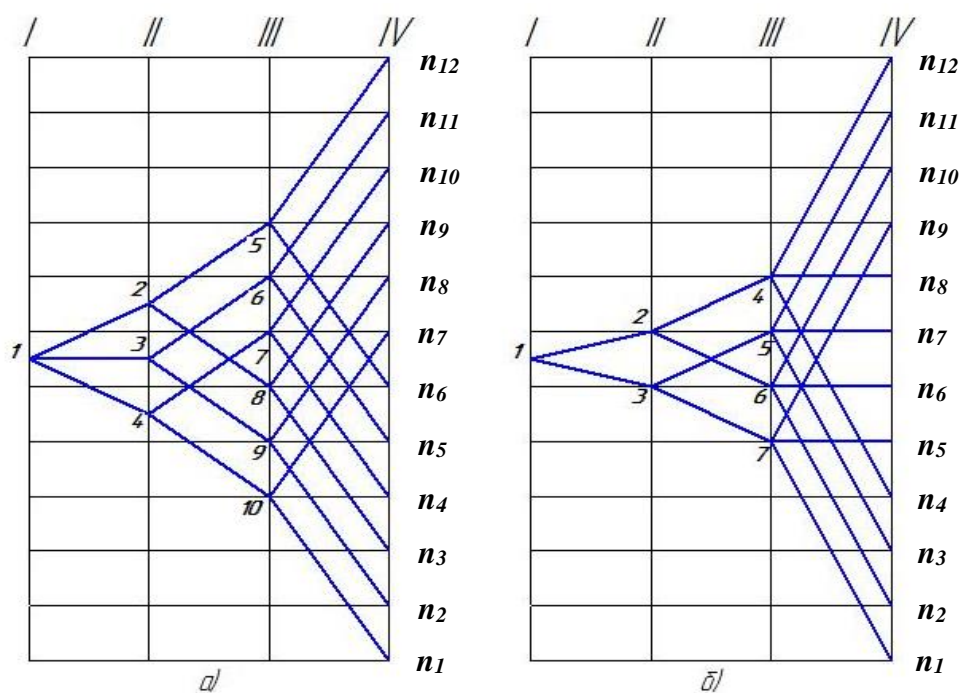


Рисунок 5.1 – Структурная сетка коробки скоростей для:  
 а – структурной формулы 3(1)·2(3)·2(6);  
 б – структурной формулы 2(1)·2(2)·3(4)

На середине первой слева вертикальной линии (соответствующей валу I) наносят точку 1, из которой симметрично, в соответствии с числом передач в группах по заданной структурной формуле, проводят лучи, соединяющие точки на вертикальных линиях. Расстояние между соседними точками на вертикальных линиях должно быть равно характеристике группы [1].

Аналогично из точек, отмеченных на линии, соответствующей второму валу, проводим лучи, обозначающие передачи в последующих группах, согласно структурной формуле.

Для построения графика чисел оборотов определим предельные значения передаточных чисел. Исходя из требования (5.3):

$$1/4 \leq u' \leq 2$$

и задавшись, что  $\varphi = 1,26$  [1], определим:

$$u'_{\min} = 1/4 = 1/\varphi^6; u'_{\max} = 2 = \varphi^3. \quad (5.9)$$

Задаемся числом оборотов вала электродвигателя, например  $n = 1440$  мин.<sup>-1</sup>, тогда по выражению (5.4) [1]:

$$(u'_{\max} / u'_{\min})_{\text{ПРЕД.}} = \varphi^{(P-1)X_{\max}} \leq 8. \quad (5.10)$$

Для варианта структурной формулы  $K_{n1} = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6)$ , последняя группа имеет характеристику  $X_{\max} = 6$ , а для  $K_{n2} = 2(1) \cdot 2(2) \cdot 3(4)$   $X_{\max} = 4$ , где  $P$  – количество передач в последней переборной группе. Для 1-го варианта  $P = 2$ , для 2-го варианта  $P = 3$ , тогда, подставив значения  $P$  и  $X$  в формулу (5.10), получим (для  $\varphi = 2$ ) [1]:

$$(u'_{\max} / u'_{\min})_{\text{ПРЕД.1}} = \varphi^{(2-1)6} = \varphi^6 = 2^6 = 64 > 8,$$

$$(u'_{\max} / u'_{\min})_{\text{ПРЕД.2}} = \varphi^{(3-1)4} = \varphi^8 = 2^8 = 256 > 8.$$

По данным расчета по формуле 5.10 варианты 1 и 2 для значений  $\varphi = 2$  не подходит, поэтому принимаем  $\varphi = 1,26$ , тогда [1]:

$$\varphi^{(2-1)6} = \varphi^6 = 1,26^6 = 4 < 8, \text{ и } \varphi^{(3-1)4} = \varphi^8 = 1,26^8 = 6,35 < 8.$$

Тогда

$$u'_{\min} = 1/4 = 1/\varphi^6 = 1/1,26^6 = 1/4,$$

$$u'_{\max} = 2 = \varphi^3 = 1,26^3 = 2.$$

Учитывая, что привод главного движения работает на редукцию, целесообразно принимать  $u'_{\max}$  не более 1:1, но с целью ограничения радиальных габаритов для зубчатых передач установлены пределы  $u'_{\min} = 1/4$ , тогда для разбираемого примера ориентировочно примем  $n = n_{\max} = n_{12}$ , т.е.  $n = n_{\max} = 1440$  мин.<sup>-1</sup>, или  $n_{11} = 1440 : 1,26 \approx 1140$  мин.<sup>-1</sup>;  $n_{10} \approx 1140 : 1,26 \approx 900$  мин.<sup>-1</sup> и т.д. [1].

Из всех возможных конструктивных и кинематических вариантов наиболее выгодным следует признать тот, который обеспечивает наибольшую простоту, наименьшее количество передач и групп, малые радиальные и осевые габариты.

Если  $K_n$  – число ступеней, то наименьшее его значение получается при условии, если каждое слагаемое в правой части уравнения будет минимальным. Поэтому число передач в группах принимают равным 2, 3 или 4. Для уменьшения веса наиболее целесообразной структурой является та, у которой основная группа содержит наибольшее количество передач. Например, из двух вариантов  $K_n = 12 = 3 \cdot 2 \cdot 2 = 2 \cdot 2 \cdot 3$  наилучшим является первый  $K_n = 12 = 3 \cdot 2 \cdot 2$  [1].

Практически выгодно применять такой кинематический порядок, при котором минимальные передаточные числа в группах уменьшаются по мере приближения к шпинделю [1].

Для построения графика чисел оборотов помимо четырех вертикальных линий, обозначающих число валов коробки скоростей (в соответствии со структурной схемой), добавляется пятый вал ( $I$  – первая вертикальная линия), кото-

рый передаёт движение с помощью клиноременной передачи на коробку скоростей (вал I). Величина передаточного числа ременной передачи принимается по типовой схеме станка, графику чисел оборотов и выбранному числу оборотов двигателя, или записывается [1]:

$$u'_{р.п.} = 1/\varphi^2 = 1/1,26^2 = 0,63.$$

Тогда  $d_{шк.1} = 160$  мм, а  $d_{шк.2} = 254$  мм [1].

Полученные значения диаметров шкивов могут быть использованы для обеих структурных формул и графиков чисел оборотов (рисунок 5.5).

Построение графика чисел оборотов начинаем с определения знаменателя ряда чисел оборотов  $\varphi$ , количества валов, количества скоростей и (зная, например, минимальное число оборотов шпинделя) их численных значений. Все это определяется на стадии разработки структурной сетки по формулам (4.6), (4.2) и (5.6).

Далее строим сетку графика чисел оборотов (ГЧО), где вертикальными линиями являются образы валов (электродвигателя и коробки скоростей), причем вал электродвигателя обозначается арабской цифрой I, а валы коробки – римскими цифрами по возрастанию I, II, III, ... и т.д. Горизонтальные линии символизируют ступени скоростей оборотов валов.

В качестве примера давайте рассмотрим случай со структурной формулой а)  $K_n = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6)$  (см. рисунок 5.2, а).

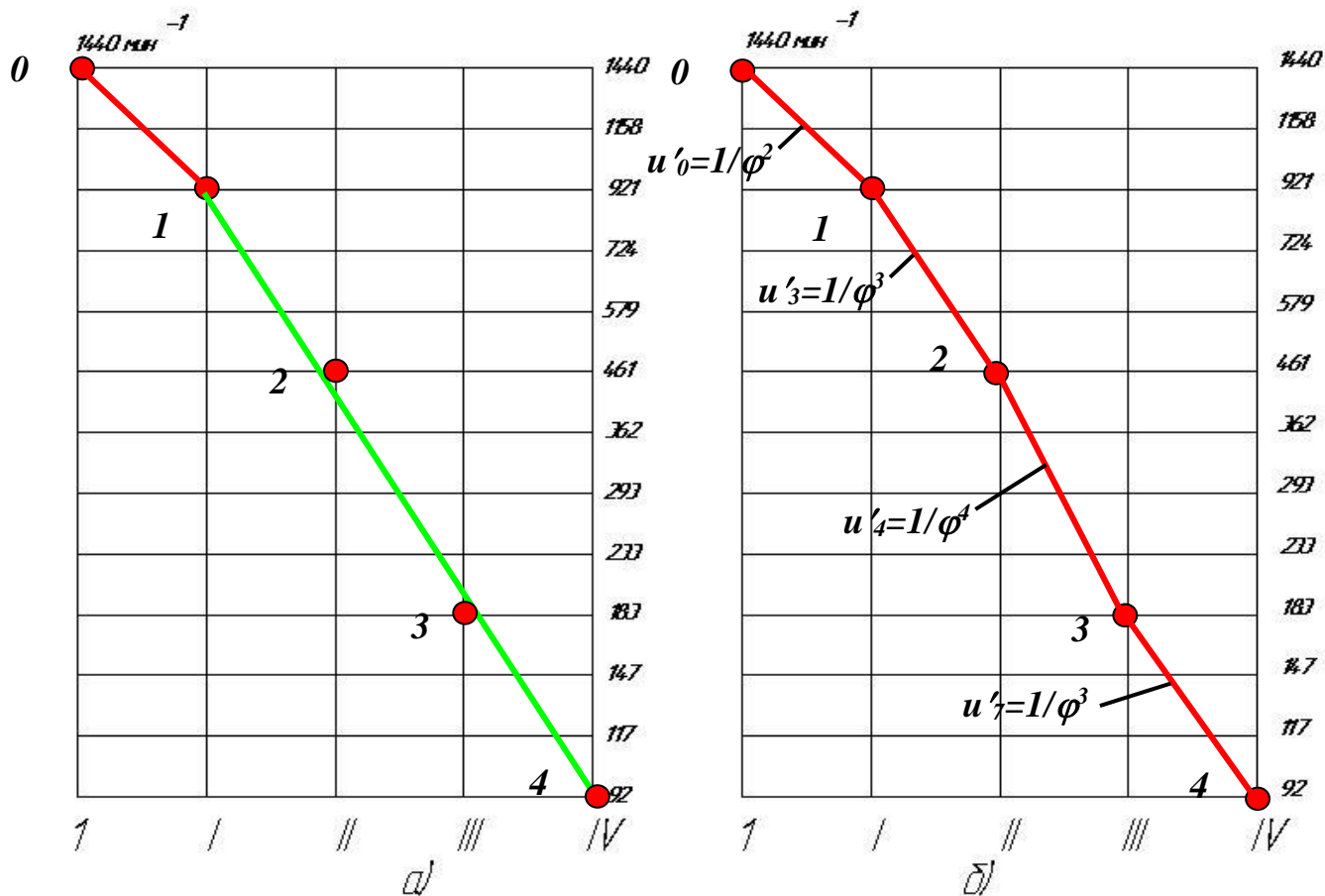


Рисунок 5.2 – Заготовка для построения графика чисел оборотов:

- а) первый шаг;
- б) второй шаг

Для данного случая знаменатель ряда чисел оборотов  $\varphi = 1,26$ , минимальное число оборотов шпинделя задается изначально и равняется  $n_1 = 92 \text{ мин}^{-1}$  и число ступеней скоростей  $n = 12$ . Руководствуясь рекомендациями, изложенными выше, выбираем число оборотов электродвигателя (близкое по значению к максимальному числу оборотов шпинделя)  $n_{ЭД} = 1440 \text{ мин}^{-1}$ .

Строим на заготовленной сетке передачу от электродвигателя на ведущий вал I (см. рис. 5.2, а). По рекомендациям принимаем  $u'_{р.п.} = u'_0 = 1/\varphi^2 = 1/1,26^2 = 0,63$ . На валу I обозначаем исходную скорость точкой «0», равную по значению числу оборотов вала электродвигателя. От этой точки до вала I проводим луч, изображающий клиноременную передачу от электродвигателя к первому валу. Передача понижающая, по высоте уходит вниз на 2 интервала. На валу I обозначаем точку «1» символизирующую число оборотов этого вала.

Далее от точки «1» до первой ступени скоростей карандашом проводим линию (см. рис. 5.2, а). И намечаем точки минимальных скоростей валов коробки скоростей (точки «2», «3» и «4»).

По данным точкам строим цепь передач от ведущего вала к ведомому, как показано на рисунке 5.2., б).

Далее, зная характеристику первой (основной) группы, равную 1, на ГЧО строим изображения первой и второй передач этой группы (см. рисунок 5.3, а). Отмечаем на валу II точки «5» и «6».

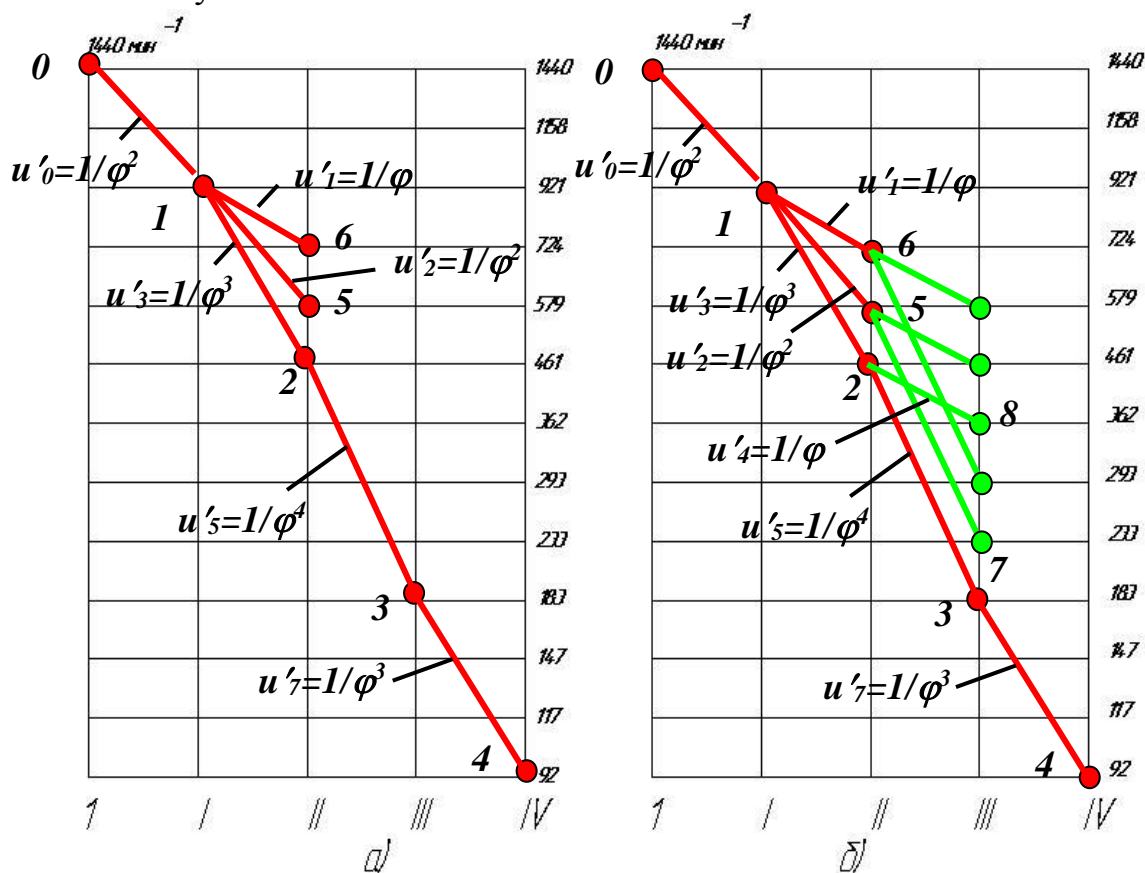


Рисунок 5.3 – Заготовка для построения графика чисел оборотов:

- а) третий шаг;
- б) четвертый шаг

Далее, зная характеристику второй группы, строим изображения скоростей этой группы (рисунок 5.3, б), отмечая на сетке точки «7» и «8».

Далее, зная количество скоростей и характеристику третьей группы, строим изображения передач этой группы, отмечая на графике точку «9» (рисунок 5.4).

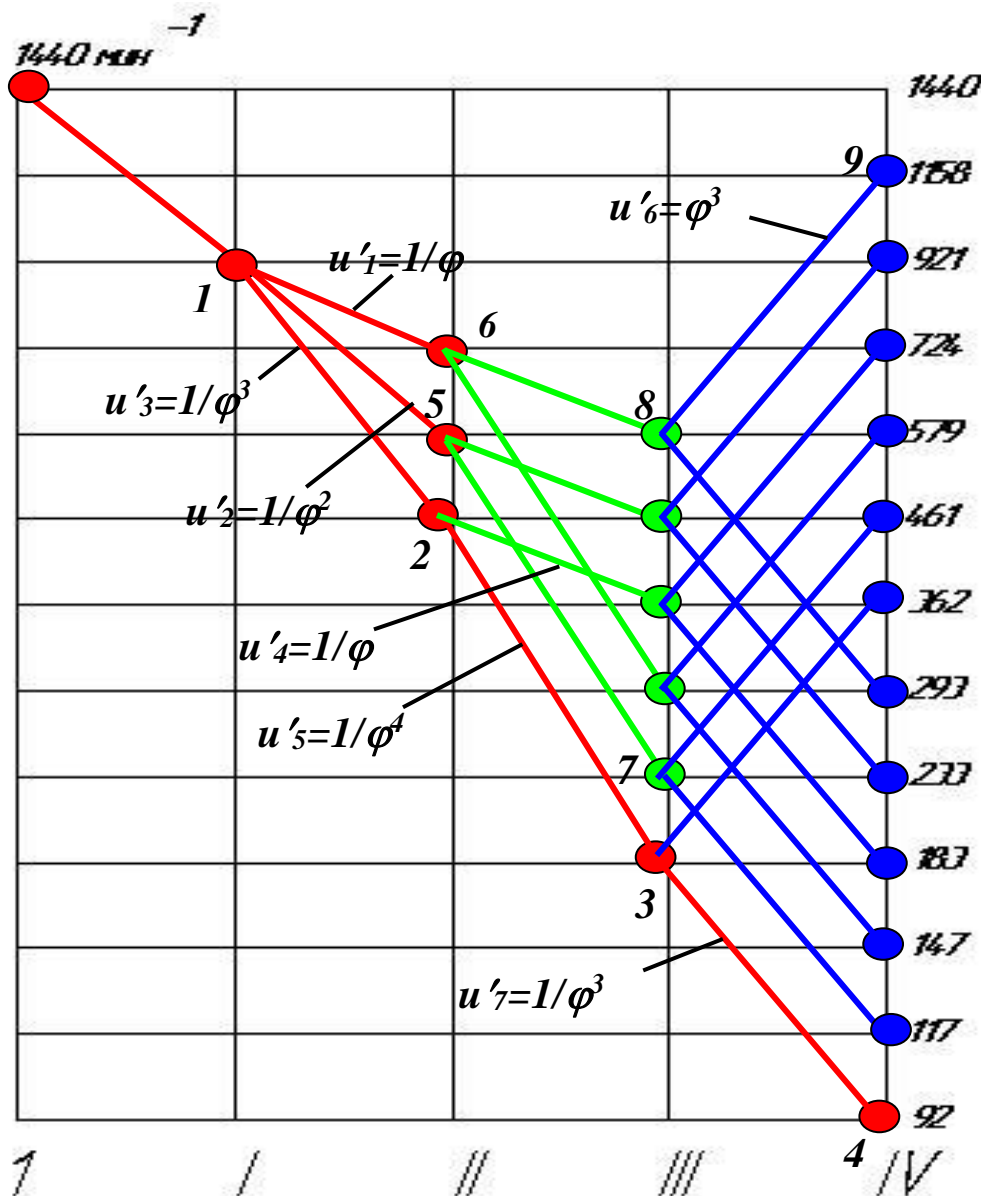


Рисунок 5.4 –График чисел оборотов

Таким образом строится график чисел оборотов шпинделя. Если количество ступеней скоростей шпинделя по графическому построению превосходит или недостает требуемого значения, то необходимо произвести коррекцию, начиная с последней группы, передаточных отношений в передачах. То есть заново произвести перерасчет с первого шага до последнего.

После построения графика чисел оборотов необходимо выполнить проверку в каждой группе на соблюдение условия (5.4):

$$(u'_{\max} / u'_{\min}) \leq 8$$



Если условие соблюдается, то график построен верно и можно переходить к следующему шагу – определению чисел зубьев зубчатых колес и построению кинематической схемы. Если условие (5.4) не выполняется, то график нуждается в коррекции.

График чисел оборотов для двух вариантов структурных формул приведён на рисунке 5.5. Он отражает *реальные* передаточные числа групп передач и частоты вращения двигателя и шпинделя [1].

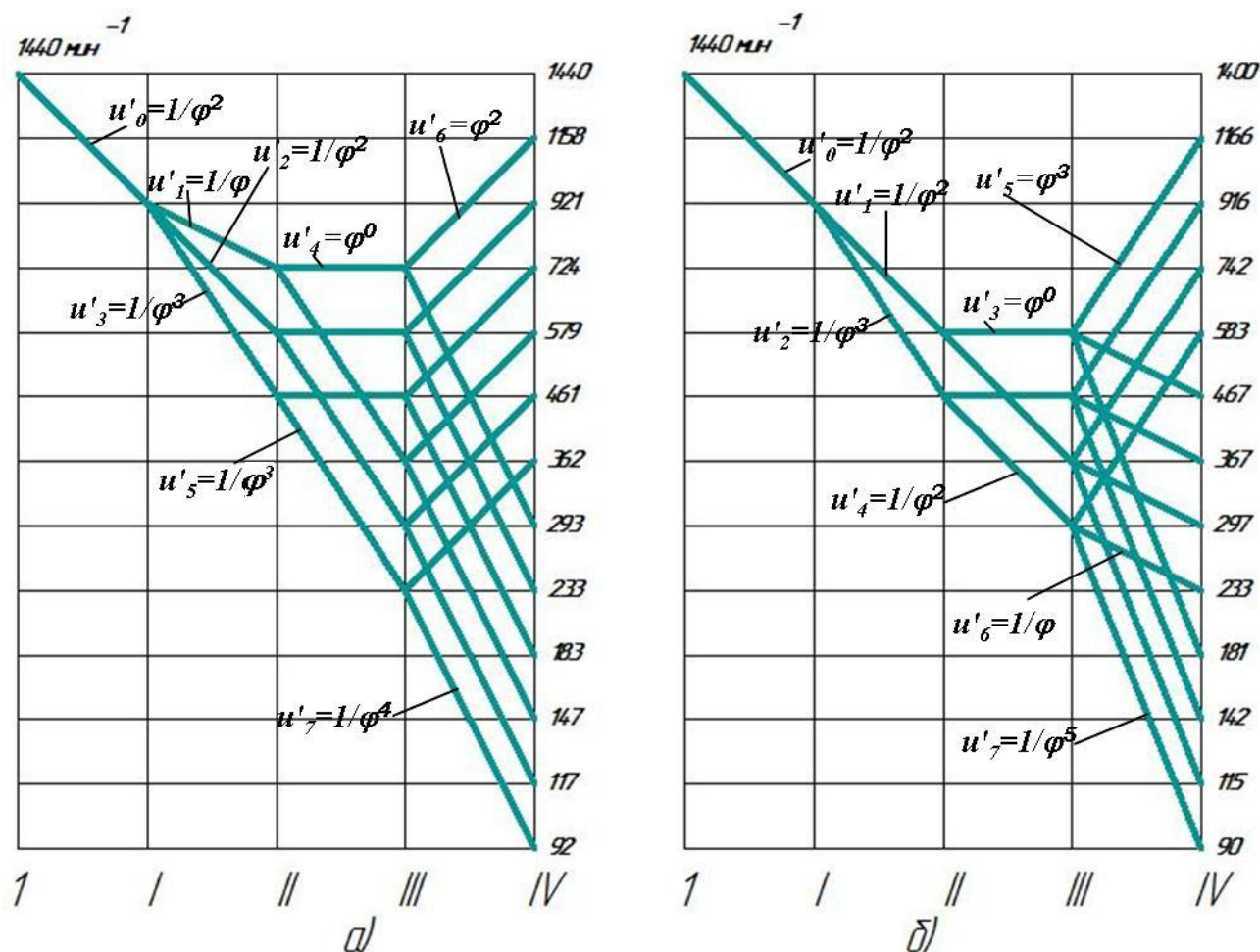


Рисунок 5.5 – Графики чисел оборотов, построенные для структурных формул:

а)  $K_n = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6)$ ;

б)  $K_n = 2(1) \cdot 2(2) \cdot 3(4)$

### 5.3 Определение передаточных отношений и чисел зубьев зубчатых колёс

Из рассмотрения графиков чисел оборотов (рисунок 5.5) следует, что величина передаточного отношения (числа) передач в группах зависит от их количества  $P$ , характеристики  $X$  и знаменателя ряда  $\varphi$  [1].

Рассмотрим первую группу передач на графике чисел оборотов (рисунок 5.2, а). Наибольшее передаточное число здесь  $u'_{\max} = 1/\varphi$ , наименьшая  $u'_{\min} = 1/\varphi^3$  или [1]:

$$u'_{\max} / u'_{\min} = 1/\varphi / (1/\varphi^3) = \varphi^2 = 1,26^2 \leq 8. \tag{5.11}$$

Для первой группы другого кинематического варианта (рисунок 5.2, б) [1]

$$u'_{\max} = 1/\varphi^2, u'_{\min} = 1/\varphi^3 \text{ и} \\ u'_{\max} / u'_{\min} = (1/\varphi^2)/(1/\varphi^3) = \varphi^1 = 1,26 \leq 8. \quad (5.12)$$

Отношение наибольшего передаточного числа к наименьшему в общем виде запишется как [1]:

$$u'_{\max} / u'_{\min} = \varphi^{(P-1) \cdot X_{\max}}. \quad (5.13)$$

Задавшись значением одного из них, например,  $u'_{\max}$  можно определить  $u'_{\min}$  или:  $u'_{\max} / u'_{\min} = 2/(1/4) = 8$  [1].

Передаточные числа, выраженные через значение  $\varphi = 1,26$ , могут быть приближённо представлены в виде простых дробей (таблица. 5.1) .

Таблица 5.1

$1/\varphi^2$	$1/\varphi$	$1/\varphi^3$	$1/\varphi^4$	$1/\varphi^5$	$1/\varphi^6$	$\varphi$	$\varphi^2$	$\varphi^3$	$\varphi^4$	$\varphi^5$
7/11	4/5	1/2	2/5	1/3	1/4	1,26	1,58	2,0	2,52	3,17

Из этих данных видно, что передаточные числа, не выходящие за пределы  $u'_{\min} = 1/4$ , возможны в том случае, если линии, изображающие передачи, снижаются на графике чисел оборотов не более шести интервалов (для  $\varphi = 1,26$ ), четырёх интервалов (для  $\varphi = 1,41$ ) и трёх интервалов (для  $\varphi = 1,58$ ) [1].

Итак, для  $K_n = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6)$  (рисунок 5.2, а)  $z_1/z_2 = 1/\varphi$ ;  $z_3/z_4 = 1/\varphi^2$ ;  $z_5/z_6 = 1/\varphi^3$ ;  $z_7/z_8 = 1/\varphi$ ;  $z_9/z_{10} = 1/\varphi^3$ ;  $z_{11}/z_{12} = \varphi^2$ ;  $z_{13}/z_{14} = 1/\varphi^4$ .

Передача  $z_{13}/z_{14}$  имеет минимальное передаточное число  $1/\varphi^4$ , равное  $2/5$ , но не выходит за пределы допустимых значений. Следовательно, график годен для расчёта [1].

Число зубьев  $z_1; z_2; z_3; z_4; z_5; z_6$  колёс первой группы передач обусловлено величиной передаточных чисел, выраженных в форме [1]:

$$z_1 / z_2 = a / b; z_3 / z_4 = c / d; z_5 / z_6 = e / f, \quad (5.14)$$

(где  $a, b, c, d, e, f$  – целые числа); и величиной межцентрового расстояния  $A$ , которое должно быть одинаковым для всех видов передач одной группы. Модули зацепления прямозубых передач, нормальные модули и углы наклона зубьев косозубых колёс в пределах одной группы чаще всего одинаковы. Следовательно, сумма зубьев [1]:

$$z_1 + z_2 = z_3 + z_4 = \dots = 2A / m_u = s_z = const. \quad (5.15)$$

Исходя из условия компактности передач,  $s_z$  и наименьшее число зубьев  $z_{\min}$  в приводах главного движения ограничивают в пределах [1]:

$$s_z \leq 200, z_{\min} = 18...20. \quad (5.16)$$

Величину  $s_z$  обычно принимают наименьшей, (допустимой) с учётом числа зубьев наименьшего зубчатого колеса группы  $z_{\min}$  [1].

Решая уравнение (5.14 и 5.15) относительно чисел зубьев, получим [1]:

$$z_1 = \frac{s_z}{a+b} \cdot a, z_2 = \frac{s_z}{a+b} \cdot b, z_3 = \frac{s_z}{c+d} \cdot c, z_4 = \frac{s_z}{c+d} \cdot d, z_5 = \frac{s_z}{e+f} \cdot e,$$

$$z_6 = \frac{s_z}{e+f} \cdot f. \quad (5.17)$$

Это условие выполнимо, если  $s_z$  – наименьшее кратное суммы  $a + b$ ,  $c + d$ ,  $e + f$ . Отсюда правило для определения чисел зубьев следующее: находят суммы  $a + b$ ,  $c + d$ ,  $e + f$ , определяют наименьшее кратное и вместо  $s_z$  подставляют его в равенство (5.17) [1].

Итак, по структурной формуле  $K_n = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6)$  и графику частот вращения (рисунок 5.2, а) определим передаточные числа передач [1]:

$u'_1 = 1/\varphi = 1/1,26 = 4/5 = a/b$ ;  $u'_2 = 1/\varphi^2 = 1/1,26^2 = 7/11 = c/d$ ;  $u'_3 = 1/\varphi^3 = 1/2 = e/f$ ;  $u'_4 = \varphi^0 = 1 = 1/1$ ;  $u'_5 = 1/\varphi^3 = 1/2$ ;  $u'_6 = \varphi^2 = 1,26^2 = 11/7$ ,  $u'_7 = 1/\varphi^4 = 1/1,26^4 = 2/5$ , где  $u_1 \dots u_7$  – передаточные числа групп передач, передающих движение с  $I$ -го на  $II$ -й вал, со  $II$ -го на  $III$ -й вал и т.д. Поэтому сумма зубьев каждой группы передач должна быть одинаковой и находиться в пределах (5.16) при одинаковом модуле  $m$  [1].

Поскольку полученные значения не соответствуют указанным пределам  $z_{min}$ , увеличим их в одинаковое число раз, так [1]:

$$4/5 \cdot 5/5 = 20/25 = a/b; c/d = 7/11 \cdot 5/5 = 35/55; e/f = 1/2 \cdot 5/5 = 5/10.$$

По полученным значениям определим общий знаменатель, который равен  $s_z = 90$ , или  $a+b = 20+25 = 45$ ;  $c+d = 35+55 = 90$ ;  $e+f = 5+10 = 15$ .

Определим числа зубьев передач 1-й группы по формулам [1]:

$$z_1 = \frac{s_z}{a+b} \cdot a = \frac{90}{20+25} \cdot 20 = 40;$$

$$z_2 = \frac{s_z}{a+b} \cdot b = \frac{90}{20+25} \cdot 25 = 50;$$

$$z_3 = \frac{s_z}{c+d} \cdot c = \frac{90}{35+55} \cdot 35 = 35;$$

$$z_4 = \frac{s_z}{c+d} \cdot d = \frac{90}{35+55} \cdot 55 = 55;$$

$$z_5 = \frac{s_z}{e+f} \cdot e = \frac{90}{5+10} \cdot 5 = 30;$$

$$z_6 = \frac{s_z}{e+f} \cdot f = \frac{90}{5+10} \cdot 10 = 60.$$

Итак, для 1-й группы передач [1]:

$$z_1/z_2 = 40/50, z_3/z_4 = 35/55, z_5/z_6 = 30/60,$$

отсюда  $A = 90$ , модуль принимаем равным 2.

Для 2-й группы передач [1]

$$u'_4 = \varphi^0 = 1/1 = a/b$$

$$u'_5 = 1/\varphi^3 = 1/1,26^3 = 1/2 = c/d$$

$$a+b = 1+1 = 2; c+d = 1+2 = 3,$$

т.е. наименьшее кратное всех сумм чисел зубьев пар зубчатых колес равно [1]:

$$k = 2 \cdot 3 = 6.$$

Но полученные значения не удовлетворяют условию (5.16) по  $z_{\min}$ , поэтому увеличим их в одинаковое число раз ( $E = 18$ ), исходя из того, что  $z_{\min} = 18 \dots 20$ :

$$\begin{aligned} u'_4 &= \varphi^0 = 1/1 = a/b \cdot 18/18 = 18/18; \\ u'_5 &= 1/\varphi^3 = 1/1,26^3 = 1/2 = c/d \cdot 18/18 = 18/36; \\ a + b &= 18 + 18 = 36; \quad c + d = 18 + 36 = 54. \end{aligned}$$

общий знаменатель определим по формуле [1]

$$s_z = E \cdot k = 18 \cdot 6 = 108, \quad (5.18)$$

где  $E = 1, 2, 3, \dots$  – целое число - множитель увеличения полученных значений.

Тогда:

$$\begin{aligned} z_7 &= \frac{s_z}{a+b} \cdot a = \frac{108}{18+18} \cdot 18 = 54; \\ z_8 &= \frac{s_z}{a+b} \cdot b = \frac{108}{18+18} \cdot 18 = 54; \\ z_9 &= \frac{s_z}{c+d} \cdot c = \frac{108}{18+36} \cdot 18 = 36; \\ z_{10} &= \frac{s_z}{c+d} \cdot d = \frac{108}{18+36} \cdot 36 = 72. \end{aligned}$$

Итак:  $z_7/z_8 = 54/54 = u'_4$ ,  $z_9/z_{10} = 36/72 = u'_5$ ,  $A = 108$ , а если общий знаменатель будет  $s_z = 54$ , тогда

$$\begin{aligned} z_7 &= (54/18) \cdot 9 = 27, \quad z_8 = (54/18) \cdot 9 = 27, \\ z_9 &= (54/27) \cdot 9 = 18, \quad z_{10} = (54/27) \cdot 18 = 36. \end{aligned}$$

Тогда:  $z_7/z_8 = 27/27 = u'_4$ ,  $z_9/z_{10} = 18/36 = u'_5$ ,  $A = 54$ ,  $m = 2,0$ .

Для третьей группы передач [1]:

$$\begin{aligned} u'_6 &= \varphi^2 = 11/7 = a/b; \\ u'_7 &= 1/\varphi^4 = 1/1,26^4 = 2/5 = c/d; \\ a + b &= 11 + 7 = 18; \quad c + d = 2 + 5 = 7, \quad s_z = 18 \cdot 7 = 126. \end{aligned}$$

Тогда:

$$\begin{aligned} z_{11} &= (126/18) \cdot 11 = 77, \quad z_{12} = (126/18) \cdot 7 = 49, \\ z_{13} &= (126/7) \cdot 2 = 36, \quad z_{14} = (126/7) \cdot 5 = 90. \end{aligned}$$

Итак:  $z_{11}/z_{12} = 77/49$ ,  $z_{13}/z_{14} = 36/90$ ,  $A = 126$ ,  $m = 2,0$ . Для структурной формулы  $K_n = 2(1) \cdot 2(2) \cdot 3(4)$  в соответствии с графиком чисел оборотов (рисунок 5.2, б) количество чисел зубьев и передаточные числа выбираются аналогично.

## 5.4 Построение кинематической схемы коробки скоростей

На рисунке 5.3 приведена кинематическая схема коробки скоростей согласно формуле  $K_{n1} = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6)$ .

Движение от электродвигателя передается валу *I* через клиноременную передачу, диаметр ведущего шкива которой равен  $d_{ШК.1} = 160$  мм, а ведомого –  $d_{ШК.2} = 254$  мм. Передаточное число клиноременной передачи, согласно графику чисел оборотов, составляет  $u'_{р.п.} = 1/\varphi^2 = 7/11$ .

Частота вращения вала *I* постоянна и составляет  $n_I = n \cdot u'_{р.п.} = 1440 \cdot 7/11 = 921 \text{ мин}^{-1}$ , где  $n$  – частота вращения вала электродвигателя [1].

На валу *I* жестко установлены зубчатые колеса  $z_1, z_3$  и  $z_5$ . Движение от вала *I* к валу *II* передается через подвижный блок-шестерню  $z_2 - z_4 - z_6$ , от вала *II* к валу *III* – через подвижный блок-шестерню  $z_7 - z_9$ , смонтированный на валу *II* и зубчатые колеса  $z_8, z_{10}$ , жестко закрепленные на валу *III*. От вала *III* к валу *IV* (шпинделю) движение передается через блок-шестерню  $z_{11} - z_{13}$  вала *III* и жестко закрепленные на валу *IV* зубчатые колеса  $z_{12}$  и  $z_{14}$  [1].

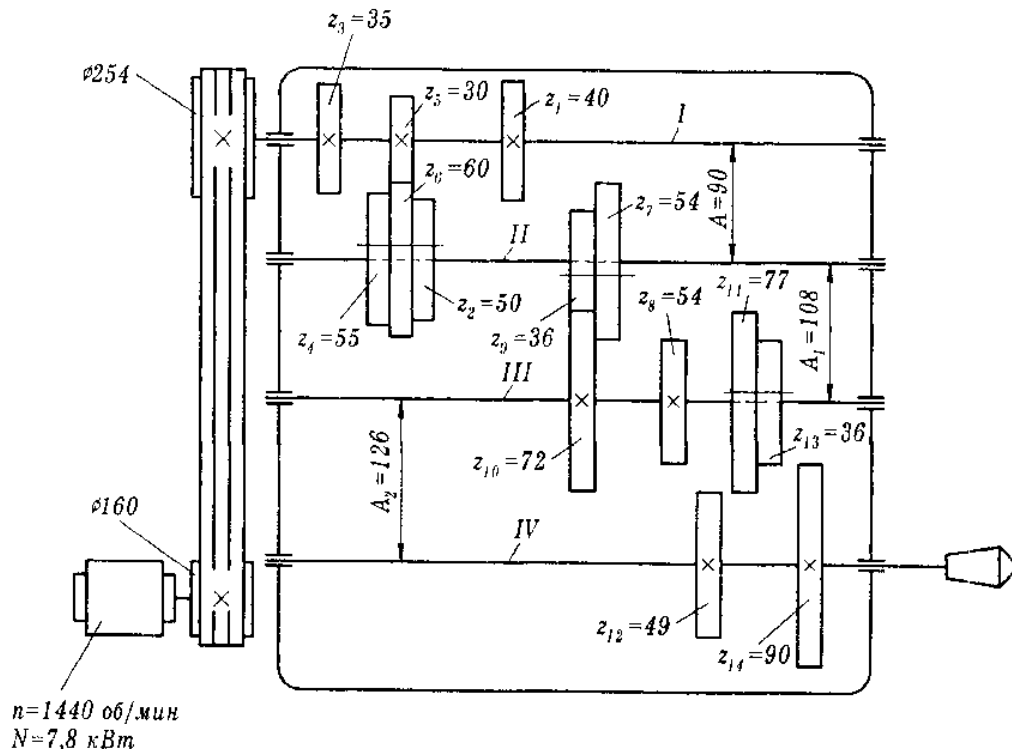


Рисунок 5.3 – Кинематическая схема 12-ступенчатой коробки скоростей, выполненной путем расчета по структурной формуле:

$$K_{n1} = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6)$$

На схеме указаны числа зубьев зубчатых колес, а также межосевые расстояния валов коробки скоростей.

Определим диаметры делительных окружностей  $Dg$  зубчатых колес  $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8, z_9, z_{10}, z_{11}, z_{12}, z_{13}, z_{14}$  при  $m = 2$  по формуле [1]:

$$Dg = z \cdot m. \quad (5.19)$$

## 6 ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ 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 металлообрабатывающих станках резанием, отличаются от идеальных формой, размерами и шероховатостью [3].

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 6.1, а) или след движения окружности по прямой (рисунок 6.1, б) [3].

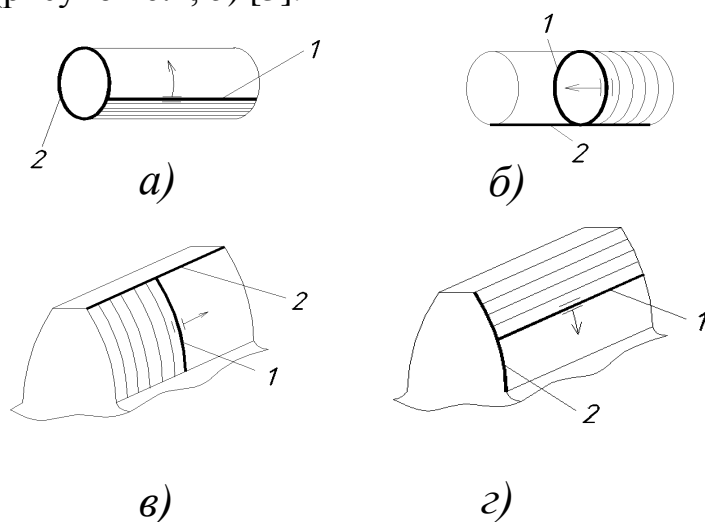


Рисунок 6.1 – Схемы формообразования некоторых поверхностей на металлорежущих станках

1) образующая; 2) направляющая

Боковую поверхность зуба прямозубого цилиндрического колеса можно рассматривать как след движения эвольвенты вдоль прямой линии (рисунок 6.1, в) или след движения прямой по эвольвенте (рисунок 6.1, г). Таким образом, с геометрической точки зрения процесс образования поверхности сводится к осуществлению движения одной производящей линии по другой [3].

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 [3].

Согласованные относительные движения заготовки и режущего инструмента, которые непрерывно создают производящие линии, а следовательно, поверхность заданной формы в целом называют формообразующими (рабочими) движениями и обозначают буквой  $\Phi$ . 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  $\Phi(B)$  и прямолинейное –  $\Phi(\Pi)$  [3].

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:  $\Phi(B_1 B_2)$ ,  $\Phi(B_1 \Pi_1)$ ,  $\Phi(B_1 \Pi_2 \Pi_3)$  и т.д. [3].

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 [3].

### 6.1 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 (см. рисунок 6.2) [3].

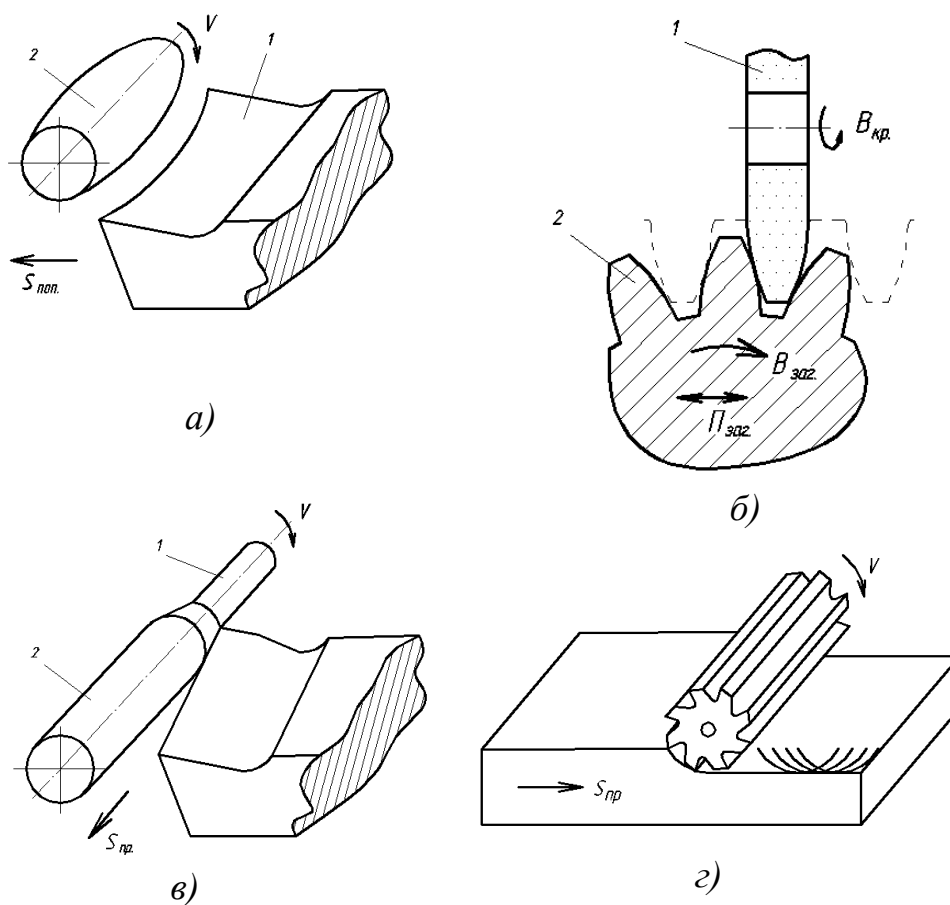


Рисунок 6.2 – Схемы методов образования производящих линий

**Метод копирования** (рисунок 6.2, 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 [3].

**Метод обката** (рисунок 6.2, 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 взаимноогибоемыми. Для получения производящей линии методом обката требуется одно, но всегда сложное формообразующее движение – движение обката (качения) [3].

**Метод следа** (рисунок 6.2, 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 [3].

Поэтому для получения производящей линии методом следа необходимо одно простое или сложное формообразующее движение (в зависимости от формы образуемой линии) [3].

**Метод касания** (рисунок 6.2, 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 [3].

## 6.2 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. В общем случае число движений формообразования для создания поверхности определяется суммой движений формообразования необходимых для образования обеих производящих линий [3].

Во всех случаях общее число формообразующих движений при формировании поверхностей резанием практически не превышает трех. Поэтому металлорежущие станки бывают с одним, двумя или тремя движениями формообразования [3].

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  $\Phi_V$ ). Если в станке есть два движения формообразования, то одно из них, имеющее большую скорость, является движением скорости резания  $\Phi_V$ , а второе, имеющее меньшую скорость, является движением подачи (обозначается  $\Phi_S$ ). Из трех движений формообразования в станке одно будет движением скорости резания  $\Phi_V$ , имеющим наибольшую скорость, а два других – движениями подачи  $\Phi_{S1}$  и  $\Phi_{S2}$  [3].

### 6.3 Классификация движений в станках

Все движения в станках, в том числе и формообразующие (рисунок 6.3, а), называются исполнительными. По целевому признаку их можно разделить на движения: формообразования  $\Phi$ , установочные  $Уст$ , деления  $Д$ , управления  $Упр$ , вспомогательные  $Всп$  [3].

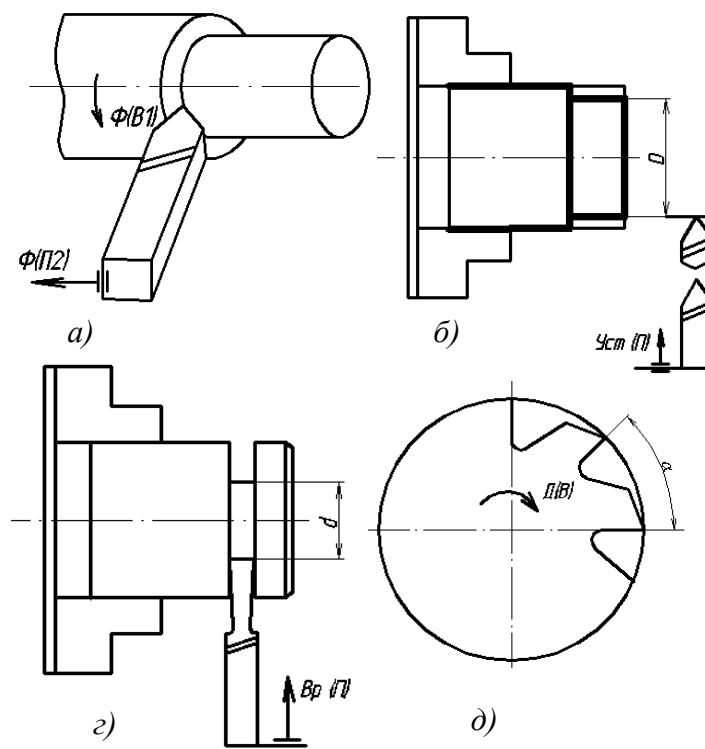


Рисунок 6.3 – Схемы движений в станках

**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  $U_{ст} (П)$  резца для установления его в положение, позволяющее получить круговой цилиндр требуемого диаметра  $D$  (рисунок 6.3, б). Иногда установочное движение, при котором отсутствует резание, называют наладочным [3].

Если при установочном движении происходит резание материала, то такое движение называют **движением врезания** (обозначается  $V_P$ ). Например, поперечное перемещение резца для образования канавки требуемого диаметра  $d$  (рисунок 6.3, в) будет движением врезания  $V_P (П)$ . Иногда движение врезания по своей структуре может совпадать с движением формообразования или осуществляться одновременно с ним [3].

**Делительными** называют движения, необходимые для обеспечения равномерного расположения на заготовке одинаковых образуемых поверхностей [3].

Движением деления будет движение  $D (B)$  поворота дисковой фрезы на угол  $\alpha$  при затыловании ее зубьев (рисунок 6.3, д). Делительные движения могут быть периодическими или непрерывными, что зависит в основном от конструкции режущего инструмента [3].

К **вспомогательным** движениям относятся движения, обеспечивающие установку, зажим, освобождение, смазывание, удаление стружки, правку инструмента и т. п. [3].

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. [3].

Определяющую роль в формировании кинематической структуры станка играют движения формообразования, установочные (врезания) и деления [3].

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 [3].

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 [3].

## 7 СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОБОРУДОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

### 7.1 Станки для обработки тел вращения

#### 7.1.1 Токарные и токарно-винторезные станки

Впервые серийный выпуск токарно-винторезных станков в нашей стране был налажен в 1929 году на Московском заводе “Красный пролетарий”. Это был ТН-20, тихоходный, маломощный станок со ступенчато-шкивным приводом для обработки деталей до 400 мм [3].

В 1932 году на смену пришёл ДИП-200, а с 1954г. начат выпуск станков модели 1К62 и его быстроходного исполнения 1М620. Сейчас они модернизированы. Характерными размерами токарных станков является максимальный диаметр обработки над станиной, который колеблется от 100 до 6300 мм и максимальная длина обработки (от 125 до 20 000 мм) [3].

Кинематическая структура токарных станков содержит кинематические цепи привода вращения шпинделя и привода продольной и поперечной подачи.

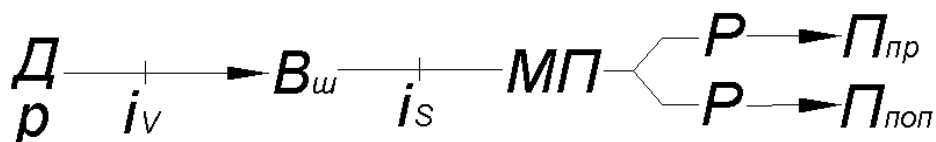


Рисунок 7.1 – Кинематическая структура токарных станков

Реверсирование шпинделя выполняется электродвигателем, а включение и реверсирование подач – механизмами, расположенными в фартуке.

Перемещение поворотных салазок, используемое для точения конусов и пиноли задней бабки – ручное, только в крупных станках эти движения механизированы [3].

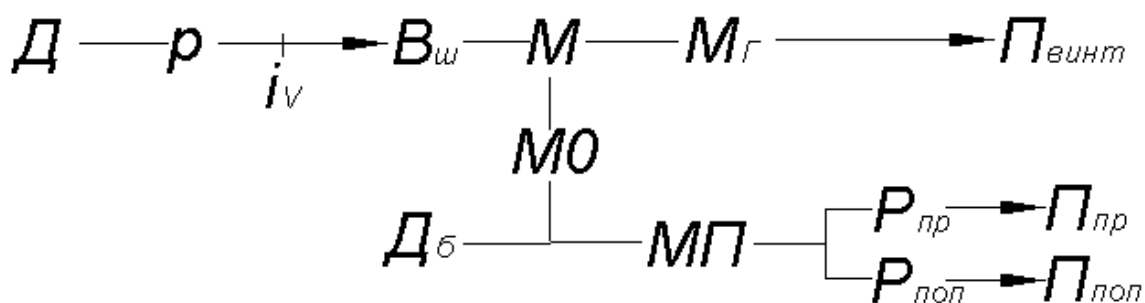


Рисунок 7.2 – Кинематическая структура токарно-винторезных станков

При токарно-винторезном использовании станка добавляется винторезная формообразующая кинематическая цепь, связывающая вращение шпинделя с продольной подачей от ходового винта. Подача при этом включается разъёмной гайкой  $M_Г$  [3].

Реверсирование шпинделя вместе с винторезной цепью в этом случае в большинстве станков передаётся от электродвигателя специальному реверсив-

ному механизму с фрикционными муфтами, т.к. при нарезании резьбы реверсирование требуется частое [3].

В современных токарных станках имеется приводная цепь быстрых перемещений, сопрягаемая с цепью рабочих подач обгонной муфтой.

Токарно-винторезный станок модели 1К62 (рисунок 7.3), например, предназначен для обработки деталей с диаметром над станиной до 400 мм и длиной до 710, 1400 и 3000 мм. У него  $N = 10$  кВт;  $n = 12,5-2000$  об/мин [3].

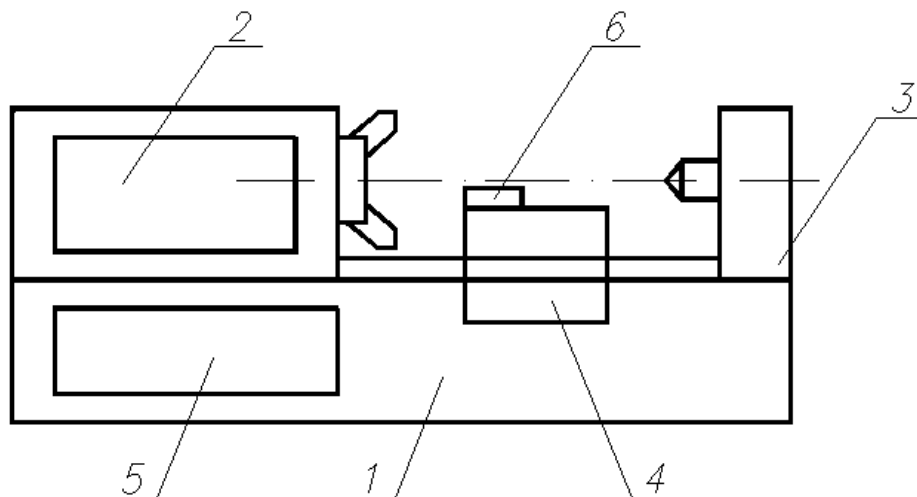


Рисунок 7.3 – Схема токарно-винторезного станка 1К62:

1 – станина; 2 – передняя бабка с коробкой скоростей; 3 – задняя бабка; 4 – фартук; 5 – коробка подач; 6 – суппорт

Станок мод. 1К620 является быстроходным вариантом станка мод. 1К62 с бесступенчатым регулированием частот вращения. Вместо первых двух групповых передач привода шпинделя в этом станке поставлен механический бесступенчатый вариатор с раздвижными коническими шкивами и широким клиновидным ремнём  $i_{v_1}$ . Его диапазон регулирования  $D_0 = 4$ . Четыре ступени переборной группы  $i_{v_2}$ , включая прямую передачу на шпиндель, расширяют диапазон регулирования, обеспечивая  $n = 12,5 \dots 3000$  об/мин [3].

Управление вариатором выполняется включением электродвигателя  $D_V$  с  $N=0,5$  кВт, вращающего барабанный кулачок раздвижения шкивов. От ведомого вала вариатора получает вращение таходинамо  $T_D$ , скорость вращения которого регистрируется стрелкой вольтметра. Она показывает по четырём шкалам, соответствующим четырём механическим ступеням фактическую частоту вращения шпинделя. В станке 1К620 механизирована подача верхней поворотной части суппорта для обеспечения точения конусов. Всё остальное унифицировано со станка 1К62 [3].

**Лоботокарные станки** предназначены для токарной обработки тяжёлых деталей большого диаметра, но небольшой длины. Передняя бабка лоботокарных станков монтируется на одной станине с суппортом, а у более крупных станков – на отдельном фундаменте. Заготовка крепится на планшайбе или в четырёхкулачковом патроне [3].

**Недостатки:** 1) Неудобство установки и выверки тяжёлых заготовок на вертикальной плоскости планшайбы; 2) Неблагоприятные условия работы подшипников короткого, тяжело нагруженного шпинделя. Поэтому эти станки вытесняются карусельными [3].

**Преимущества:** Они проще, дешевле карусельных станков и применяются в индивидуальном и мелкосерийном производстве на обдирке и при обработке не очень точных деталей [3].

**Специализированные токарные станки.** Наибольшее распространение получили следующие специализированные токарные станки:

1. Многорезцовые; 2. Вальцетокарные; 3. Для обработки коленчатых валов; 4. Слиткообдирочные; 5. Колесотокарные и осетокарные для ж/д транспорта; 6. Трубо- и муфтообрабатывающие; 7. Бесцентровообдирочные; 8. Резьбообрабатывающие; 9. Токарно-затыловочные [3].

**Вальцетокарные станки** предназначены для обработки прокатных валов с диаметром до 2 м и длиной до 8 м. Они выполняются очень жёсткими, т.к. служат для обработки как гладких, так и ручьевых сырых и закалённых валов не только продольной или криволинейной подачей по периметру ручьёв, но и поперечным врезанием очень широкого (до 250 мм) фасонного быстрорежущего резца [3].

**Слиткообдирочные станки** – для обдирки не крупных четырёх или многогранных слитков, перед их поступлением в прокатку. Они имеют возвратно-поступательное движение резца и его качение вокруг режущей точки для сохранения нормальных углов резания [3].

**Станки для токарной обработки коленчатых валов** бывают нескольких видов: а) для обработки средних коренных шеек и их щёк, с приводом от обоих крайних коренных шеек; б) для обработки в центрах обоих крайних коренных шеек, с приводом от средней обработанной коренной шейки через разъемную шестерню; в) для обработки шатунных шеек и их щёк, с приводом от обоих крайних шеек, смещённых от оси вращения на величину их эксцентриситета; г) для одновременной обработки всех шатунных шеек и их щёк. В этом случае коленчатый вал вращается вокруг оси коренных шеек, а суппорты вращения синхронно с ним, но вокруг оси, смещённой на величину эксцентриситета шатунных шеек. Резцы при этом остаются горизонтальными. Для обработки тяжёлых коленчатых валов применяют станки, на которых заготовки закрепляют неподвижно в люнетах, а вращение, движение подач и установочные движения сообщаются охватывающим резцовым головкам. Обработка ведётся последовательно всех шеек [3].

**Трубо- и муфтообрабатывающие станки** – обрабатывают концы труб и муфт и нарезают на них соединительную коническую резьбу [3].

**Бесцентровообдирочные валотокарные станки** предназначены для обработки длинных валов и обдирки прутков для последующей их обработки на револьверных станках и токарных автоматах. Обработка невращающегося вала ведётся двумя вращающимися резцовыми головками – обдирочной и чистовой. Подача прутка выполняется роликами. Концы обрабатываемого вала поддерживаются тележками [3].

## 7.1.2 Токарно-револьверные станки

Они предназначены для токарной обработки в серийном производстве деталей сложной конфигурации различными инструментами, большая часть которых закреплена в револьверной головке (рисунок 7.4).

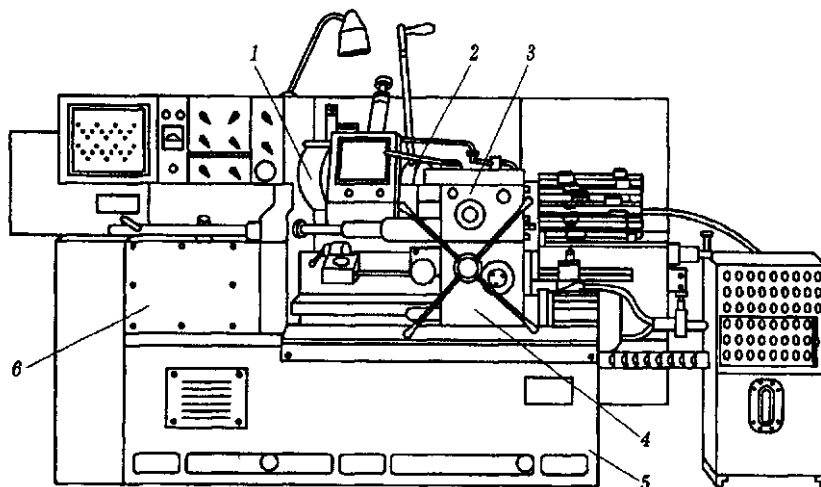


Рисунок 7.4 – Токарно-револьверный станок 1Г340:

1 – шпиндельная бабка; 2 – револьверная головка; 3 – суппорт; 4 – фартук; 5 – станина; 6 – коробка передач

Токарно-револьверные станки делятся на прутковые и патронные. На этих станках можно выполнять почти все основные токарные операции. Применение этих станков считается рациональным в том случае, если по технологическому процессу обработки детали требуется последовательное применение различных режущих инструментов: резцов, свёрл, развёрток, метчиков и т.д. Инструменты в необходимой последовательности крепят в соответствующих позициях револьверной головки и резцедержателях поперечных суппортов. Все режущие инструменты устанавливают заранее, при наладке станка и в процессе обработки они поочерёдно или параллельно вводятся в работу. Величина хода каждого инструмента ограничивается упорами, которые выключают продольную и поперечную подачи. После каждого рабочего хода револьверная головка поворачивается и рабочую позицию занимает новый режущий инструмент [3].

Револьверные головки бывают цилиндрические и призматические. Головки цилиндрической формы выпускают с горизонтальной и вертикальной осями вращения, с расположением горизонтальной оси параллельно или перпендикулярно оси станка. Головки призматической формы обычно бывают с шестью гранями [3].

В станках для патронной работы обрабатываются штучные отливки иковки [3].

В станках для прутковой работы круглые, шестигранные и другой формы прутки зажимаются в цанге и периодически после отжатия подаются цангой до упора, закреплённого в данной из позиций револьверной головки [3].

Типажом прутковых станков предусмотрены токарно-револьверные станки с наибольшим диаметром обрабатываемых прутков 10, 16, 18, 25, 40, 65 и 100 мм [3].

Для зажима прутка при обработке не токарно-револьверных станках широкое применение получили цанговые патроны. Основным их элементом является цанга – стальная закалённая втулка с прорезами, образующими пружинящие лепестки (см. рисунок 7.5) [3].



Рисунок 7.5 – Цанга

Основным размером револьверных станков является наибольший диаметр прутка или диаметр штучной заготовки, закрепляемой в патроне. Специфическими узлами револьверных станков являются: револьверная головка, поперечный суппорт и механизм подачи и зажима прутка. Остальные узлы подобны узлам токарных станков [3].

Ходовой винт револьверным станкам не требуется, т.к. резьба на них нарезается только метчиками или плашками [3].

### 7.1.3 Токарно-карусельные станки

Основными размерами карусельных станков является наибольший диаметр и наибольшая высота заготовки. Карусельные станки имеют максимальный диаметр обработки от 800 до 2500 мм. Станки с диаметром обработки до 1600 мм изготавливают одностоечными, а больших типоразмеров – двухстоечными. Первые имеют на траверсе один вертикальный суппорт с револьверной головкой и один горизонтальный суппорт на стойке. У вторых на траверсе два вертикальных суппорта и один или два боковых, горизонтальных – на стойках [1, 2, 3]

Главное движение резания создаётся вращением планшайбы. Каждый из суппортов имеет вертикальную и горизонтальную подачу, а также быстрое перемещение в этих же направлениях. Траверса имеет установочное вертикальное перемещение с автоматическим закреплением на направляющих [3].

Карусельный станок мод. 1512 (рисунок 7.6), например, одностоечный и предназначен для обработки деталей с диаметром до 1250 мм и высотой до 900 мм. У него  $N = 30$  кВт, привод планшайбы обеспечивает 18 ступеней частот вращения с  $n = 5 \dots 250$  об/мин [1].

Для разгрузки направляющих планшайба через упорный шариковый подшипник вручную приподнимается на 0,04...0,05 мм и образовавшийся зазор заполняется смазкой [3].

На вертикальные ходовые валики подач вращение подается от планшайбы. Далее через реверсирующие механизмы и коробки подач движение подается либо на вертикальную, либо на горизонтальную подачу любого суппорта [3].

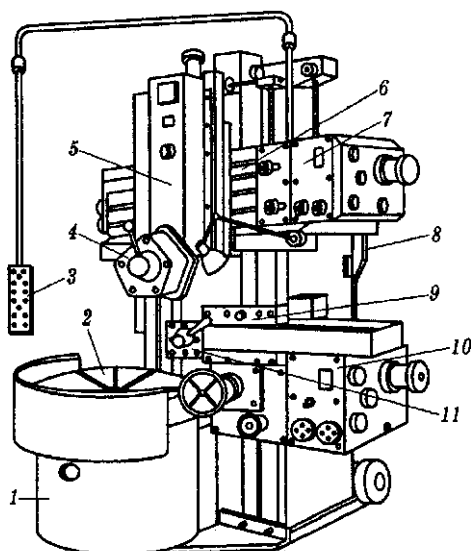


Рисунок 7.6 – Одностоечный токарно-карусельный станок 1512:

1 – корпус; 2 – планшайба; 3 – пульт управления; 4 – пятипозиционная револьверная головка; 5 – вертикальный суппорт; 6 – траверса; 7, 10 – коробки подачи; 8 – станина; 9 – горизонтальный суппорт; 11 – четырехпозиционный резцедержатель

## 7.2 Станки для обработки призматических деталей

### 7.2.1 Сверлильные станки

Сверлильные станки предназначены для получения сквозных или глухих отверстий, для чистовой обработки отверстий зенкерованием и развёртыванием, для нарезания внутренних резьб метчиками, для зенкерования торцовых поверхностей и отверстий [3].

Существуют следующие типы универсальных сверлильных станков:

1. Настольно-сверлильные; 2. Вертикально-сверлильные (одношпиндельные); 3. Радиально-сверлильные; 4. Многошпиндельные 5. Для глубокого сверления [3].

Основным характерным размером сверлильных станков является наибольший диаметр сверления в стали средней твёрдости [3].

Наиболее распространенными являются **вертикально-сверлильные станки** (в силу наибольшей простоты их конструкции) [1].

**Радиально-сверлильные станки** (см. рисунок 7.7) предназначены для обработки отверстий в средних и крупных деталях при единичном и серийном производстве. Они позволяют направлять инструмент в любую точку неподвижной детали в зоне хобота станка вокруг колонны и перемещения по его направляющим шпиндельной головки. Высокие детали устанавливаются в яме, сделанной около станка [3].

На таких станках кроме кинематической группы привода вращения шпинделя и его подачи, на станке имеется кинематическая группа подъёма хобота [3].

Перемещение шпинделя бабки по хоботу и поворот хобота выполняются вручную. Для обсверловки тяжёлых деталей применяются переносные ра-



диально-сверлильные станки, перемещаемые краном. Они имеют поворот оси шпинделя на любой угол в двух плоскостях [3].

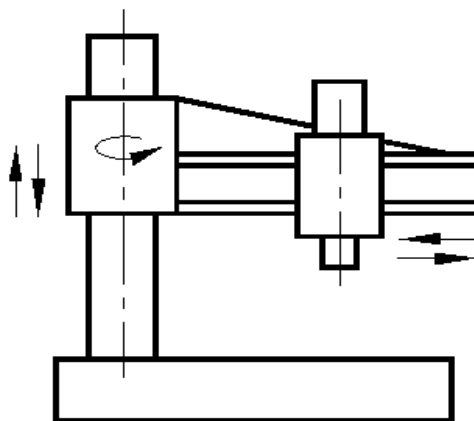


Рисунок 7.7 – Схема радиально-сверлильного станка

**Многошпиндельные сверлильные станки** бывают:

1. С неподвижными осями шпинделя; 2. С переставными шарнирными шпинделями [3].

Первые – станки общего назначения, предназначены для последовательного выполнения ряда переходов различными инструментами, при перемещении вручную заготовки [3].

Вторые – настраиваются при серийном производстве для одновременного сверления нескольких отверстий. Возможность изменения взаимного расположения осей шпинделей в них обеспечивается двухшарнирным сочленением шпинделей с центральным приводным валом [3].

**Станки для глубокого сверления** применяются в случае, если длина отверстия во много раз превышает его диаметр. В них вращение подаётся на сверло или на деталь или на то и другое одновременно. Инструментом является пушечное или ружейное сверло. Стружка непрерывно вымывается СОЖ, подаваемой через центральное отверстие сверла под давлением в 5-20 кг/см<sup>2</sup> [3].

### 7.2.2 Расточные станки

Подразделяются на: 1. Горизонтально-расточные; 2. Координатно-расточные; 3. Алмазно-расточные; 4. Станки для глубокой расточки [3].

В **горизонтально-расточных станках** основной размер – диаметр шпинделя. Главное движение резания – вращение шпинделя или вращение планшайбы. К подачам кроме движения стола и бабки относятся ещё осевое движение шпинделя и радиальное движение резцового суппорта на планшайбе. На этих станках могут выполняться следующие работы: 1. Сверление; 2. Растачивание отверстий; 3. Подрезка торцов; 4. Нарезание резьбы; 5. Фрезерование плоскости [3].

В **координатно-расточных станках** основной размер – ширина стола. Эти станки предназначены для обработки точных отверстий при допуске на

расстояние между их осями порядка 5...10 мкм. Бывают одностоечные и двухстоечные координатно-расточные станки (рисунок 7.8) [3].

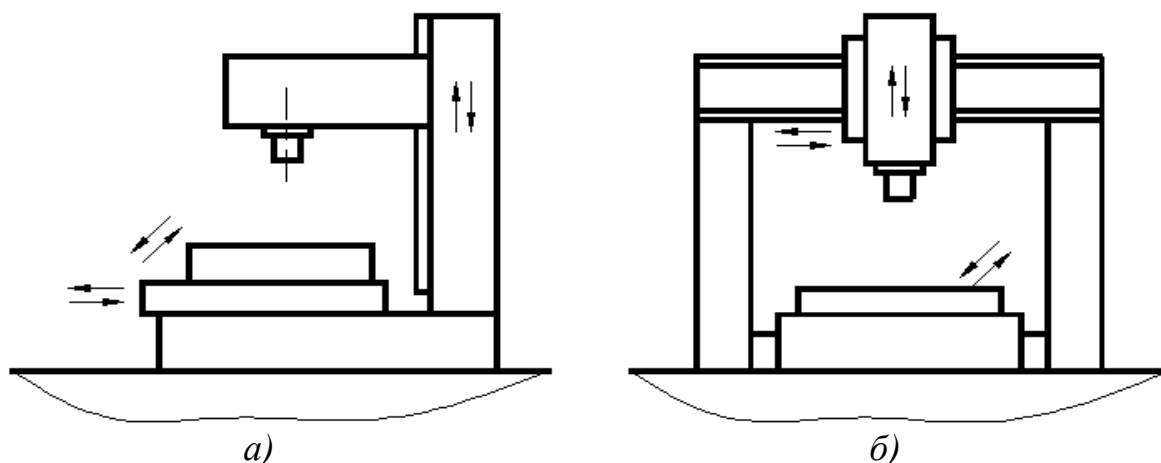


Рисунок 7.8 – Схемы одностоечного (а) и двухстоечного (б) координатно-расточных станков

**Алмазно-расточные станки** обеспечивают тонкое растачивание отверстий с некруглостью их в пределах 3...5 мкм и шероховатостью поверхности 1,25...0,32 мкм. Частота вращения шпинделя порядка нескольких тысяч оборотов в мин. Подача обычно гидравлическая малая по величине, порядка 10...15 мм/мин. Припуск снимается 0,1...0,4 мм. Расположение шпинделей бывает вертикальным и горизонтальным [3].

**Станки для глубокой расточки** мало отличаются от станков для глубокого сверления, только работают расточными головками разной конструкции [3].

### 7.2.3 Фрезерные станки

На фрезерных станках обрабатываются плоскости, фасонные поверхности, канавки, нарезаются наружные и внутренние резьбы, зубчатые колёса и многолезвийные инструменты с прямыми и винтовыми зубьями (фрезы, развёртки и др.) Фрезерные станки общего назначения бывают [3]:

1. **Консольные** (с консольным столом), в том числе *вертикальные, горизонтальные, широкоуниверсальные* (рисунок 7.9, а, б, в) [3].

2. **Бесконсольные** (или иначе с крестовым столом). Они чаще вертикальные, но есть и горизонтальные (рисунок 7.10) [3].

3. **Продольно-фрезерные**. Они бывают одностоечные и двухстоечные (рисунок 7.11) [3].

4. **Специализированные** (например, карусельно-фрезерные) [3].

Основным размером фрезерных станков являются ширина стола, которая у консольных станков бывает от 100 до 500 мм; у бесконсольных – от 320 до 1000 мм, у ПФС – от 320 до 5000 мм [3].

Главное движение резания у всех фрезерных станков – вращение фрезы. Характерной особенностью фрезерных станков является независимость подач от главного движения резания. Размерность подач – мм/мин [3].

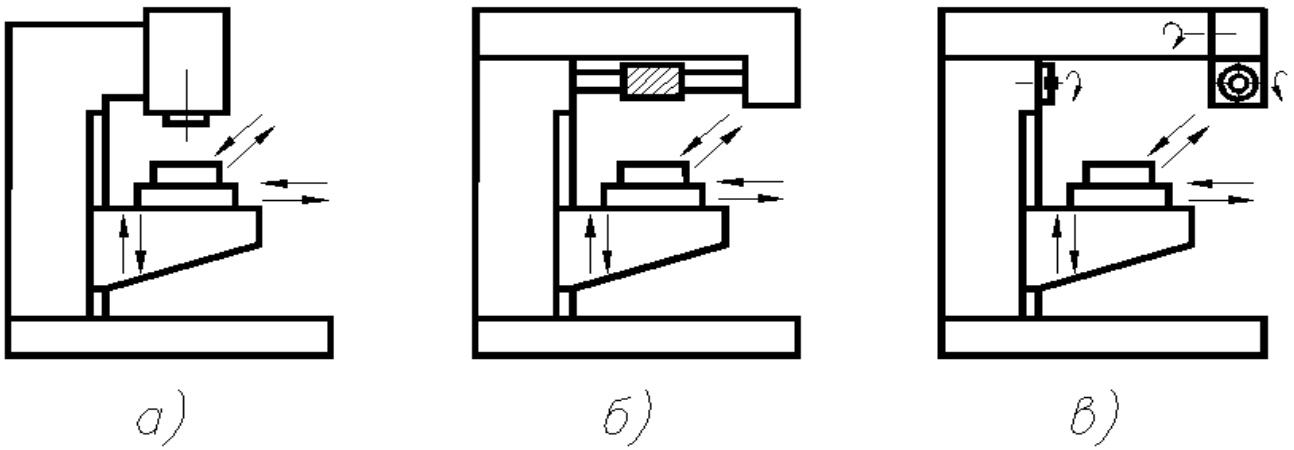


Рисунок 7.9 – Схемы консольно-фрезерных станков:  
 а) вертикальный; б) горизонтальный; в) широкоуниверсальный

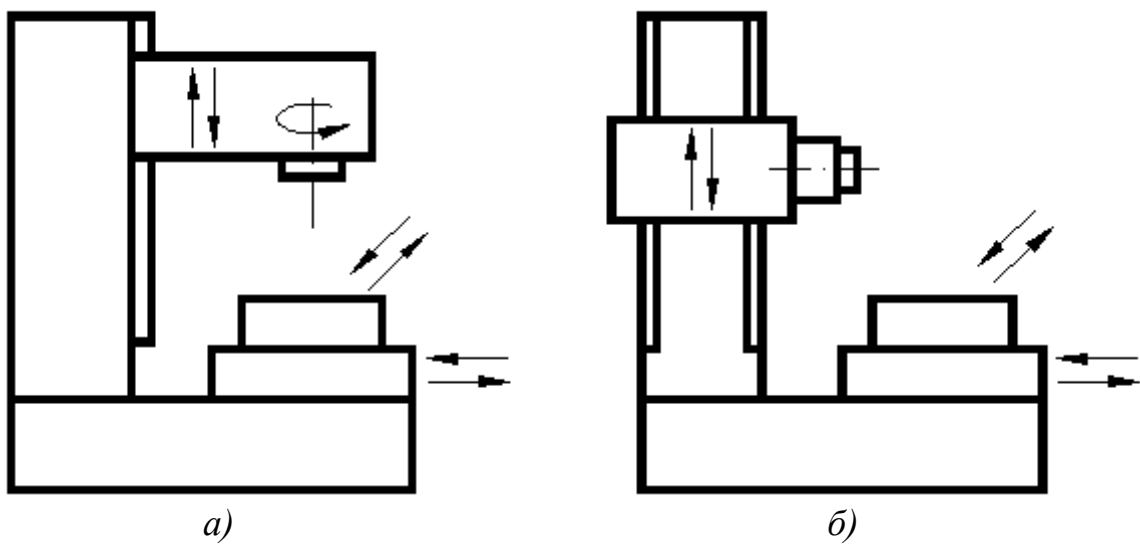


Рисунок 7.10 – Схемы бесконсольно-фрезерных станков:  
 а) вертикальные; б) горизонтальные

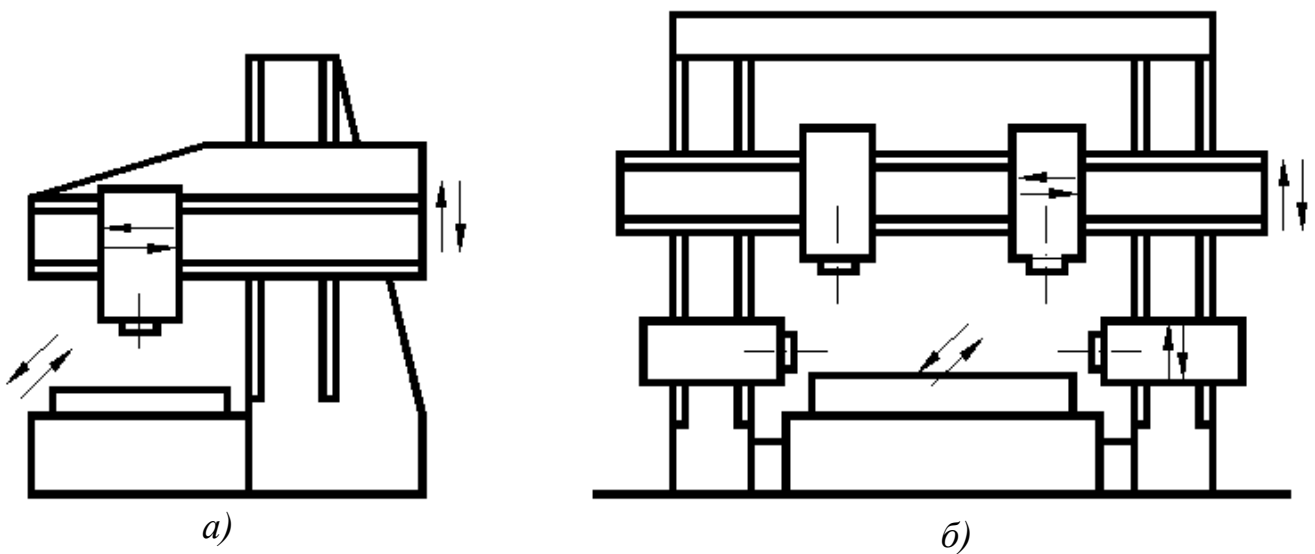


Рисунок 7.11 – Схемы продольно-фрезерных станков:  
 а) одностоечный; б) двухстоечный

У консольных фрезерных станков стол имеет продольную и поперечную подачи и вместе с консолью перемещается вертикально по направляющим стойки. У бесконсольных станков стол также имеет продольную и поперечную подачи, но расположен на станине, а вертикальное перемещение передано шпиндельной бабке [3].

У продольно-фрезерных станков столу с тяжёлыми заготовками оставлено только продольное перемещение, а остальные движения подач переданы фрезерным бабкам, т.к. заготовки на этих станках имеют вес от нескольких тонн, до нескольких сотен тонн [3].

### 7.3 Станки для абразивной обработки

Шлифовальные станки применяются в основном для снижения шероховатости обрабатываемых деталей и получения точных размеров. В большинстве случаев на шлифование детали поступают после предварительной черновой обработки и термических операций, хотя бывают случаи, когда шлифование является единственным методом обработки. Основным инструментом при шлифовании – шлифовальный круг. На шлифовальных станках можно обрабатывать наружные и внутренние цилиндрические, конические и фасонные поверхности и плоскости, резать заготовки, шлифовать резьбу и зубья зубчатых колёс, заточивать режущий инструмент и т.д. Шлифовальные станки в зависимости от назначения подразделяются на круглошлифовальные, внутришлифовальные, безцентровошлифовальные, плоскошлифовальные и специальные [3].

Главным движением резания во всех шлифовальных станках является вращение шлифовального круга, измеряемое в м/сек.  $V_{шл} = 30 \dots 40$  м/сек.

#### 7.3.1 Круглошлифовальные станки

При обработке длинных валов (рисунок 7.12, а) станок имеет следующие движения: главное движение – *вращение шлифовального круга*, круговая подача – *вращение заготовки*. Кроме того, имеется продольная подача заготовки и поперечная подача шлифовального круга (подача врезания) [3].

Станки, работающие методом врезания (рисунок 7.12, б), имеют круговую подачу, подачу на врезание, а также осциллирующую подачу, т.е. колебательное осевое движение, которое могут совершать шлифовальная бабка или стол [3].

Круглошлифовальные станки бывают простые и универсальные, т.е. имеющие поворот оси шпиндельной бабки и бабки изделия для шлифования конусов [3].

Основной размер в них – наибольший диаметр обработки. Он равен 100-1600 мм [3].

#### 7.3.2 Внутришлифовальные станки

На внутришлифовальных станках шлифуют сквозные и глухие отверстия цилиндрической и конической формы, а также их торцы [3].

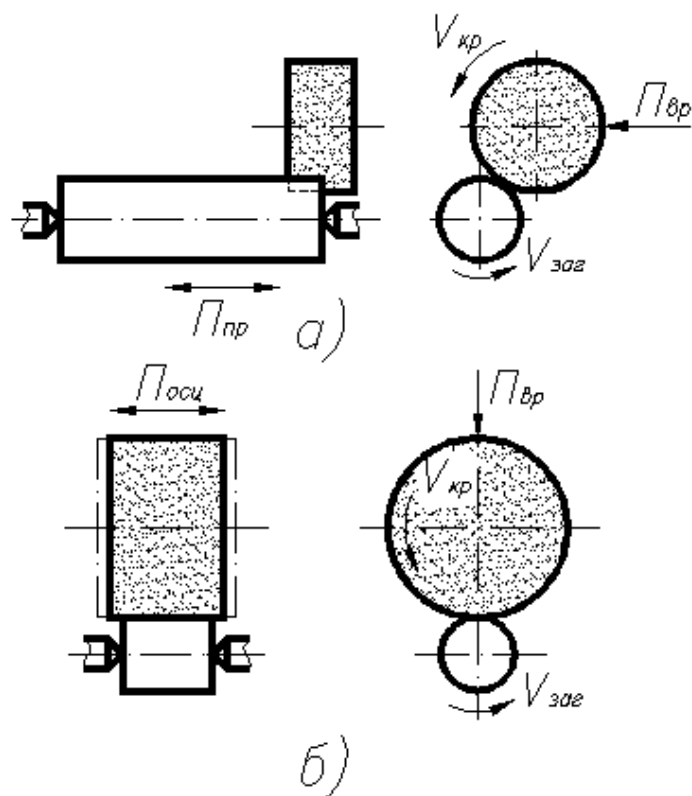


Рисунок 7.12 – Схемы обработки деталей на круглошлифовальных станках:  
 а) продольное; б) врезанием

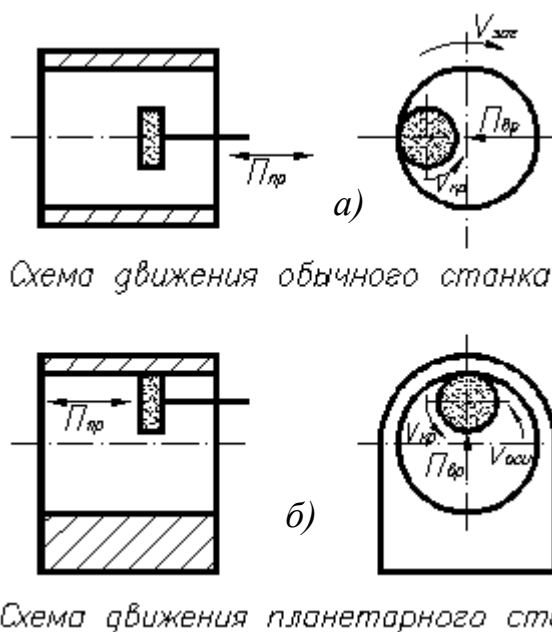


Схема движения обычного станка

Схема движения планетарного станка

Рисунок 7.13 – Схемы обработки деталей на внутришлифовальных станках:  
 а) обычная; б) планетарная

При обычном исполнении станков вращаются как шлифовальный круг, так и заготовка (рисунок 7.13, а) [3].

При планетарном исполнении вращение заготовки передано оси шлифовального круга, т.к. заготовки обычно тяжёлые и имеют несимметричную форму. Кроме того подача врезания выполняется на этих станках не смещением оси

шлифовального круга относительно оси шлифуемого отверстия, а изменением величины радиуса вращения оси шлифовального круга относительно оси отверстия (рисунок 7.13, б) [3].

Для обеспечения достаточной (30-40м/с) скорости резания число об/мин шлифовальных кругов малого диаметра приходится доводить до 150 000 об/мин [3].

Опорами шпинделей служат прецизионные радиально-упорные шарикоподшипники со смазкой масляным туманом, а также гидро- и аэростатические подшипники [3].

### 7.3.3 Бесцентровошлифовальные станки

Бесцентровошлифовальные станки применяются в крупносерийном и массовом производстве для наружного и внутреннего шлифования тел вращения (рисунок 7.14) [3].

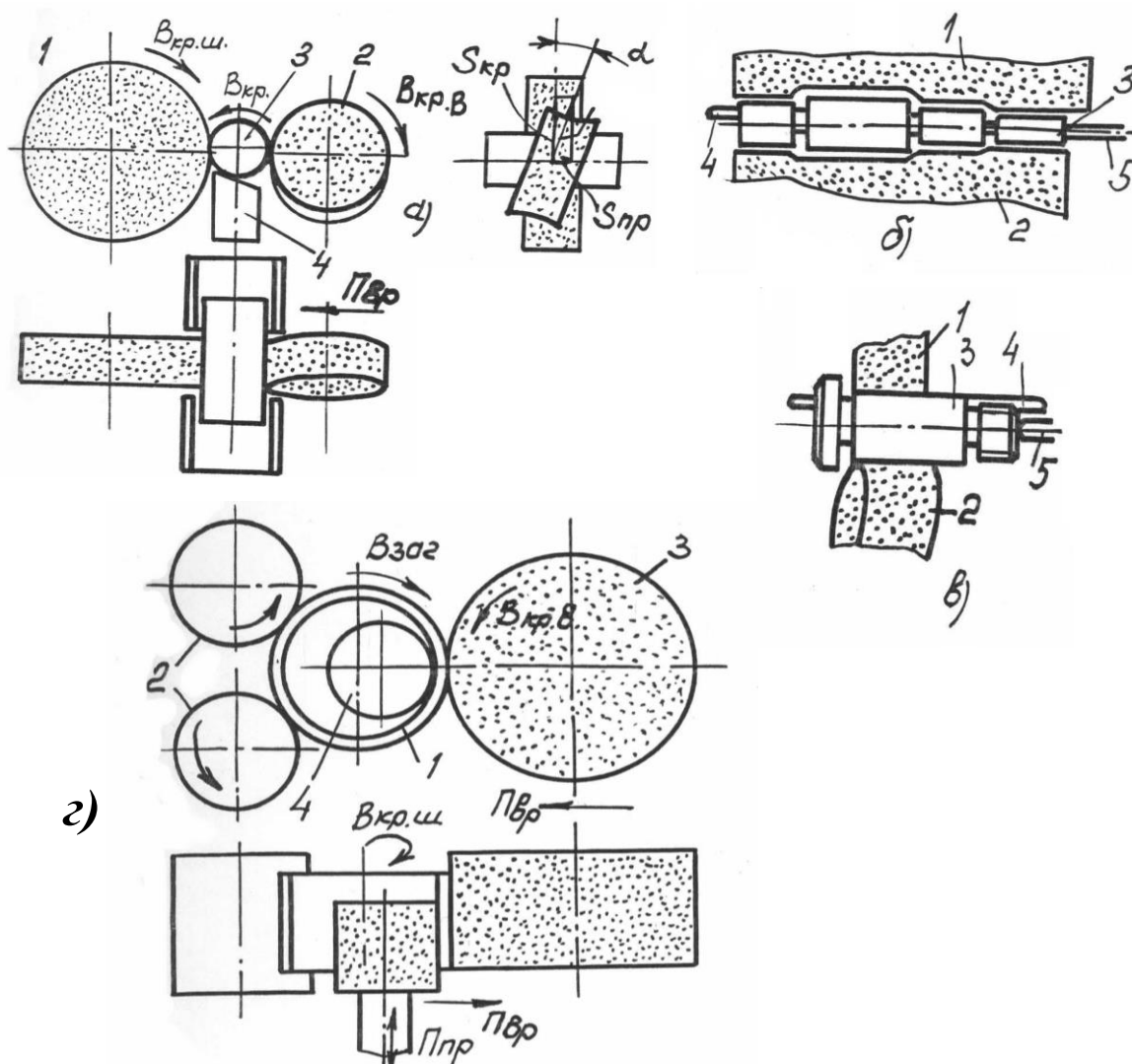


Рисунок 7.14 – Схемы обработки деталей на бесцентровошлифовальных станках:

а, б, в – наружная; б – внутренняя

При шлифовании наружных поверхностей (рисунок 7.14, *а, б, в*) заготовка 3, поддерживаемая ножом 4, располагается между двумя абразивными кругами, из которых шлифующий круг 1, вращаясь с окружной скоростью 30...40 м/с, снимает с заготовки припуск, а другой ведущий круг 2, вращающийся с окружной скоростью 10...50 м/мин, сообщает заготовке вращение (круговую подачу)  $V_{SKP}$  и продольную (осевую) подачу  $П_{PP}$ . Установочное поперечное перемещение ведущего круга  $П_{BP}$  определяет диаметр шлифуемой детали. Ось ведущего круга 2 повернута на угол  $\alpha$ , чтобы он не только вращал заготовку  $V_{SKP}$ , но и выполняя её осевую подачу  $П_{PP}$ . При черновом шлифовании  $\alpha = 1,5...6^\circ$ , при чистовом  $\alpha = 0,5...1,5^\circ$  [3].

Наиболее часто на этих станках применяют сквозное шлифование деталей с постоянным наибольшим диаметром (рисунок 7.14, *а*), но применяют и шлифование деталей с уступом до упора 5 (рисунок 9.3, *б*). В этом случае для установки заготовки 3 и её снятия ведущий круг 2 отводится [3].

Недлинные заготовки сложной формы шлифуют методом врезания поперечным перемещением ведущего круга 2 (рисунок 7.14, *в*). При этом в осевом направлении заготовка 3 фиксируется упорами 5, к которому поджимается за счёт небольшого (порядка  $30^\circ$ ) поворота оси ведущего круга 2 [3].

Для получения на заготовке конической, фасонной или ступенчатой формы при врезном шлифовании шлифующему, а иногда и ведущему кругу придается с помощью правки соответствующая форма рабочей поверхности по копиру [3].

Для бесцентрового шлифования отверстий (рисунок 7.14, *г*) заготовки 1 типа втулок базируются наружной точно обработанной цилиндрической поверхностью на два опорных ролика 2, к которым их поджимает ведущий шлифовальный круг 3. Шлифующий круг 4 кроме вращения имеет возвратное поступательное движение  $П_{PP}$  вдоль оси и подачи врезания  $П_{BP}$  в сторону ведущего круга 3. Радиальные усилия резания замыкаются через толщину стенки заготовки на ведущий круг 3, поэтому не деформируют даже тонкостенную заготовку [3].

***Преимущества бесцентровошлифовальных станков:***

1. Большое сокращение вспомогательного времени на установку, выверку и снятие заготовки, особенно при продольной подаче.
2. Меньший припуск на обработку, т.к. заготовка самоцентрируется.
3. Прогиб заготовки от сил резания исключён.
4. Большая стабильность размеров в партии деталей.
5. Возможность шлифования относительно тонких валов и тонкостенных втулок.

Недостатки: требуется высокая квалификация наладчика [3].

### **7.3.4 Плоскошлифовальные станки**

По расположению оси шпинделя плоскошлифовальные станки подразделяются на горизонтальные (рисунок 7.15, *а и в*), работающие периферией круга, и на вертикальные (рисунок 7.15, *б и г*), работающие торцом круга [3].

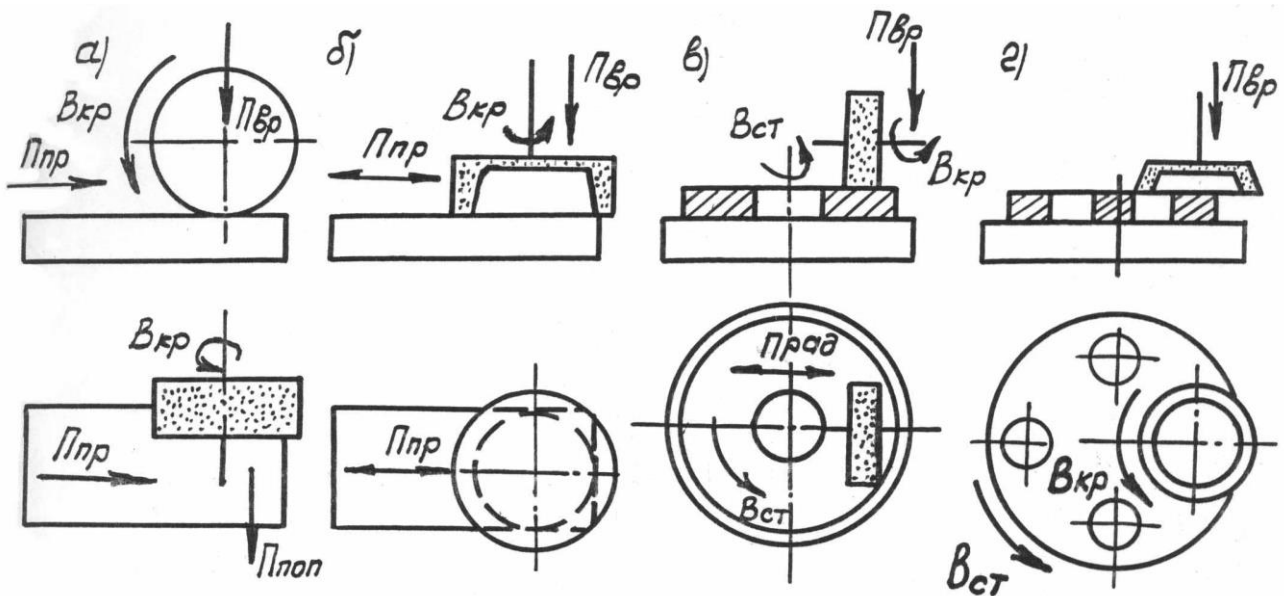


Рисунок 7.15 – Схемы обработки деталей на плоскошлифовальных станках:  
*а, в* – периферийная; *б, г* – торцевая

По форме стола они подразделяются на имеющие круглый стол (рисунок 9.4, *в* и *г*), имеющие прямоугольный стол (рисунок 7.15, *а* и *б*) [3].

Главное движение резания у всех разновидностей – вращение шлифовального круга  $V_{кр}$ . При прямоугольном столе имеется его продольное возвратно-поступательное движение  $П_{пр}$ , при круглом – вращение стола  $V_{ст}$ . При работе дисковым кругом на станках с горизонтальным шпинделем имеется периодическая поперечная подача  $П_{поп}$  вдоль оси шпинделя для обработки заготовок по всей их ширине [3].

У всех вариантов плоскошлифовальных станков имеется ещё периодическая вертикальная подача врезания  $П_{вр}$ , выполняемая в начале каждого хода или оборота стола. Шероховатость поверхностей, обрабатываемых на плоскошлифовальных станках, после черного шлифования достигает от 3,2 до 0,8, после чистового от 0,8 до 0,4 и после тонкого шлифования – 0,4 до 0,2 [3].

#### 7.4 Электрофизическая и электрохимическая обработка

Методы электрофизикохимической обработки (ЭФХО) основаны на использовании специфических явлений, возникающих под действием электрического тока, для удаления материала или изменения формы заготовки [3].

Основным преимуществом методов ЭФХО является возможность их использования для изменения формы заготовок из материалов, не поддающихся обработке резанием, причём обработка этими методами происходит в условиях действия минимальных сил или при полном их отсутствии [3].

Во многих случаях обработки методами ЭФХО в качестве обрабатываемого инструмента используют сформированный определённым образом поток электронов, ионов или фотонов. Преимуществом подобных «инструментов» является их безынерционность и отсутствие износа [3].



### 7.4.1 Электрофизические методы обработки

**Недостатки:** повышенная по сравнению с обработкой резанием энергоёмкость; необходимость использования при обработке специального оборудования; необходимость сбора и утилизации отходов [3].

**Электроэрозионная обработка (ЭЭО)** является разновидностью электрофизической обработки и характеризуется тем, что изменение формы, размеров и качества поверхности заготовки происходит под действием электрических разрядов. Электрические разряды возникают при пропускании импульсного электрического тока в зазоре шириной 0,01 – 0,05 мм между электродом-заготовкой и электродом-инструментом. Под действием электрических разрядов материал заготовки плавится, испаряется и удаляется из межэлектродного зазора в жидком или парообразном состоянии. Подобные процессы разрушения электродов (заготовок) называют электрической эрозией [3].

В целях интенсификации электрической эрозии зазор между заготовкой и электродом заполняют диэлектрической жидкостью (керосин, минеральное масло, дистиллированная вода). При достижении на электродах напряжения, равного напряжению пробоя, в среде между электродом и заготовкой образуется канал проводимости в виде заполненной плазмой цилиндрической области малого сечения с плотностью тока 8000 – 10000 А/мм<sup>2</sup>. Высокая плотность тока, поддерживаемая в течение  $10^{-5}$  –  $10^{-8}$  с, обеспечивает температуру на поверхности заготовки до 10000 – 12000°С [3].

Удаленный с поверхности заготовки металл охлаждается диэлектрической жидкостью и застывает в виде сферических гранул диаметром 0,01 – 0,005 мм.

Режимы ЭЭО делятся на электроискровые и электроимпульсные.

**Электроискровые режимы** характеризуются использованием искровых разрядов с малой длительностью ( $10^{-5}$ ... $10^{-7}$ с) при прямой полярности подключения электродов (заготовка «+», инструмент «-»)[3].

Электроискровые режимы используют при обработке твердых сплавов, труднообрабатываемых металлов и сплавов, тантала, молибдена, вольфрама и т.д. [3].

Для проведения обработки на электроискровых режимах используют электроэрозионные (искровые) станки (рисунок 7.16), оснащенные РС-генераторами, состоящего из зарядного и разрядного контура. Зарядный контур включает конденсатор С, заряжающийся через сопротивление R от источника тока с напряжением 100 – 200 В, а в разрядный контур параллельно конденсатору С включены электроды 1 (инструмент) и 2 (заготовка). Как только напряжение на электродах достигает пробойного, через межэлектродный зазор происходит искровой разряд энергии, накопленной в конденсаторе С. Постоянство межэлектродного зазора поддерживается специальной следящей системой, управляющей механизмом автоматического движения подачи инструмента, изготовленного из меди, латуни или углеграфитных материалов [3].

**Электроимпульсные** режимы характеризуются применением импульсов большой длительности (0,5...10 с), соответствующих дуговому разряду между электродами и более интенсивному разрушению катода. В связи с этим при

электроимпульсных режимах катод соединяется с заготовкой, что обеспечивает более высокую производительность эрозии (в 8-10 раз) и меньший, чем при электроискровых режимах, износ инструмента [3].

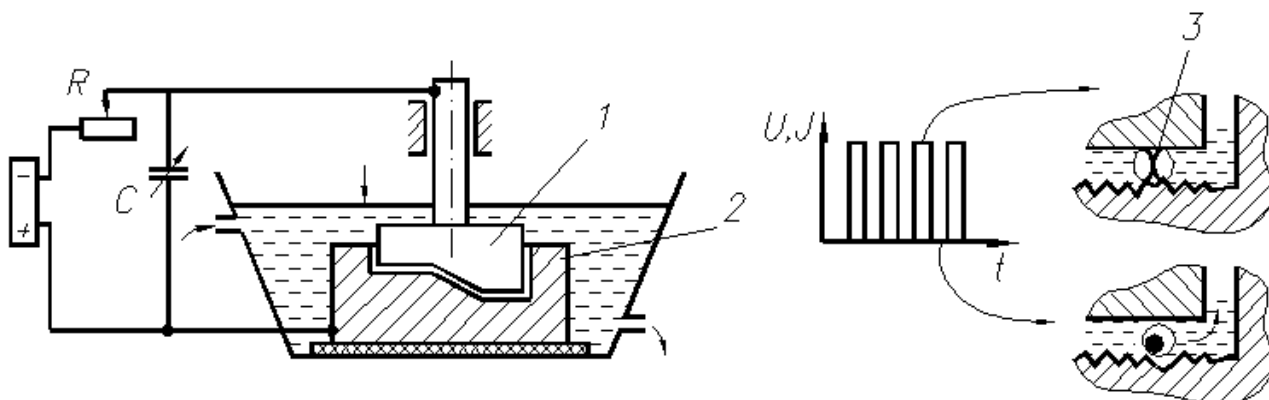


Рисунок 7.16 – Схема электроэрозионного (искрового) станка

Наиболее целесообразной областью применения электроимпульсных режимов является предварительная обработка заготовок сложнопрофильных деталей (штампы, турбины, лопатки и т.д.), изготовленных из труднообрабатываемых сплавов и сталей. Электроимпульсные режимы реализуются установками (рисунок 7.17), в которых на электроды 1 и 2 подаются униполярные импульсы от электромашинного или электронного генератора 3. Возникновение ЭДС индукции в намагниченном теле движущимся под некоторым углом к направлению оси намагничивания позволяет получать ток большей величины [3].

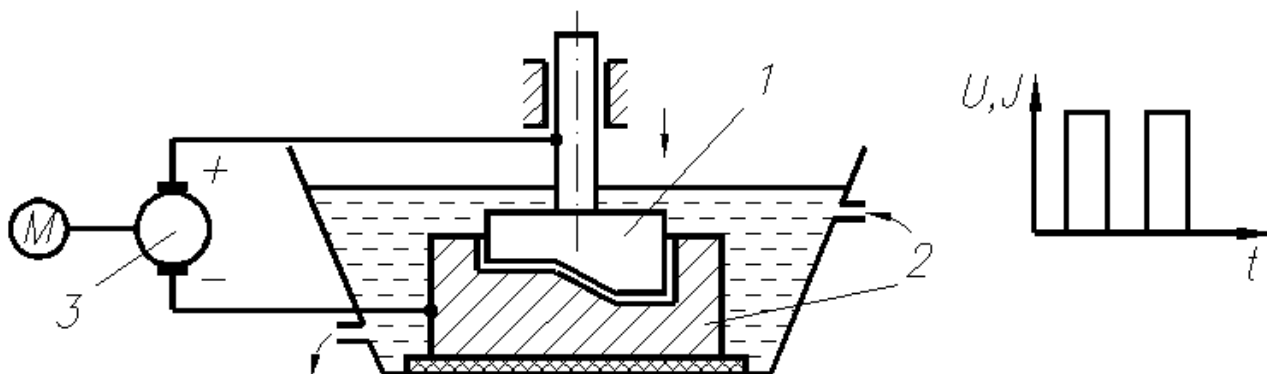


Рисунок 7.17 – Схема электроэрозионного (импульсного) станка

**Лучевая обработка.** Разновидностями лучевой обработки в машиностроении является электронно-лучевая или светолучевая обработка [3].

**Электронно-лучевая обработка (ЭЛО)** основана на тепловом воздействии потока движущихся электронов на обрабатываемый материал, который в месте обработки плавится и испаряется [3].

В качестве оборудования для проведения ЭЛО используют специальные электровакуумные устройства, называемые электронными пушками (рисунок 7.18). Они генерируют, ускоряют и фокусируют электронный луч. Электронная пушка состоит из вакуумной камеры 4 (с разрежением  $133 \cdot 10^{-4}$ ), в которой установлен питаемый источником высокого напряжения 1 вольфрамовый катод

2, обеспечивающий эмиссию свободных электронов, которые разгоняются электрическим полем, созданным между катодом 2 и анодной диафрагмой 3.

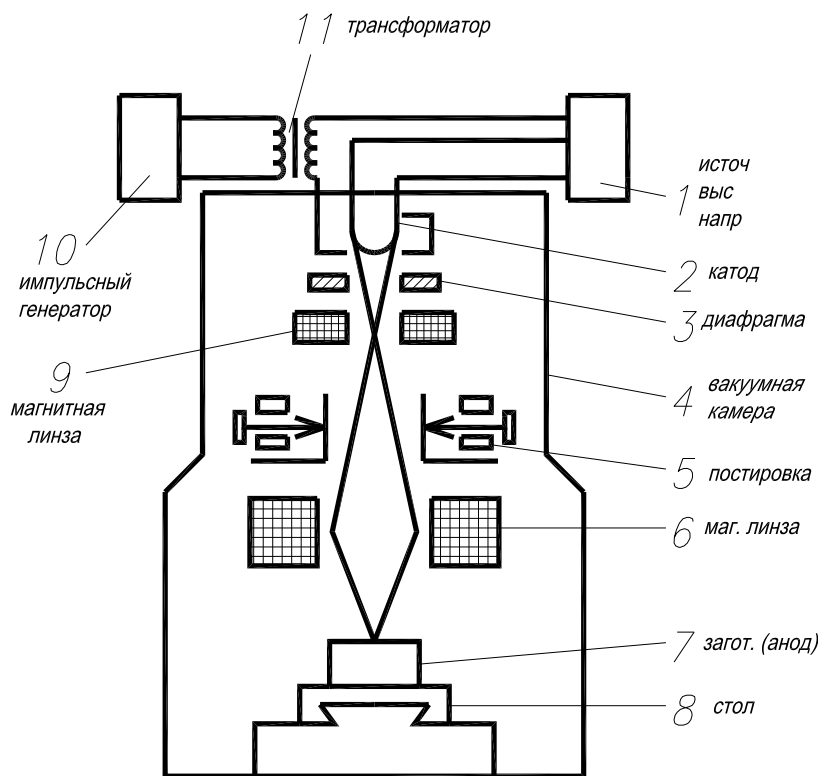


Рисунок 7.18 – Схема электронной пушки

Далее электронный луч проходит через систему магнитных линз 9, 6, устройство электрической юстировки 5 и фокусируется на поверхности обрабатываемой заготовки 7, установленной на координатном столе 8. Импульсный режим работы электронной пушки обеспечивается системой состоящей из импульсного генератора 10 и трансформатора 11 [3].

**Метод светолучевой обработки (СЛО)** основан на использовании теплового воздействия светового луча высокой энергии, излучаемого оптическим квантом генератором (лазером) на поверхность заготовки [3].

Размерная обработка с помощью лазеров заключается в образовании отверстий диаметром 0,5...10 мкм в труднообрабатываемых материалах, изготовлении сеток, вырезании из листа сложнопрофильных деталей и т.д. [3].

#### 7.4.2 Электрохимическая обработка (ЭХО)

ЭХО основана на анодном растворении металла обрабатываемой заготовки в среде электролита под действием электрического тока. Все разновидности ЭХО можно разделить на отделочную и размерную обработку [3].

**Отделочная ЭХО** предназначена для изменения состояния и свойств поверхностей. При проведении отделочной ЭХО заготовка помещается в ванну с электролитом, подключается к аноду, а катодом служит металлическая пласти-

на (медь, свинец и т.д.) После подачи напряжения на электроды, начинается интенсивное растворение выступов микронеровностей заготовки вследствие повышенной плотности тока на их вершинах. Поверхности впадин микронеровностей растворяются значительно медленнее, так как заполняются экранирующими их продуктами растворения, имеющими пониженную проводимость. В результате такого неравномерного растворения происходит сглаживание толщины дефектного слоя и увеличение коррозионной стойкости поверхности. Для повышения интенсивности растворения используют электролит, нагретый до 40...80°С [3].

**Размерная ЭХО** предназначена для изменения формы, размеров и шероховатости поверхностей обрабатываемой заготовки. При размерной ЭХО растворение металла происходит при прохождении тока через электролит, прокачиваемый под давлением в зазоре между электродом – инструментом и заготовкой. Наиболее интенсивное растворение происходит на участках, где зазор минимален, а плотность тока наибольшая. В ходе размерной ЭХО происходит выравнивание плотности тока в межэлектродном зазоре и, как следствие, копирование профиля электрода – инструмента на заготовку [3].

В качестве электролитов используют растворы солей NaCl, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с добавлением слабого раствора соляной кислоты. Наиболее часто используют водный раствор NaCl, который дешевле и обеспечивает длительную работоспособность благодаря непрерывному восстановлению в растворе хлористого натрия [3].

Размерной ЭХО подвергаются наружные и внутренние поверхности. Она служит также для прошивки и калибрования отверстий, обработки лопаток турбин, труб, фасонных полостей и т.д. [3].

## 7.5 Зубообрабатывающие станки [2]

В качестве примера рассмотрим несколько моделей зубообрабатывающих станков.

**Зубодолбежный станок модели 514.** Станок предназначен для нарезания цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями как наружного, так и внутреннего зацепления в условиях индивидуального и главным образом серийного производства. Станок приспособлен для нарезания блоков шестерен.

При наличии дополнительных приспособлений на станке можно также нарезать рейки. Станок может быть использован для черного и чистового нарезания зубьев.

**Техническая характеристика станка:**

**Наибольший наружный диаметр обрабатываемых колес** в мм:

с наружным зацеплением...500

с внутренним зацеплением...550

**Наименьший наружный диаметр обрабатываемых колес** в мм:...20

**Наибольшая длина обрабатываемого зуба** в мм:

с наружным зацеплением...105

с внутренним зацеплением...75

*Пределы модулей зубьев колес, нарезаемых по стали, в мм...2–6*

*Пределы чисел двойных ходов долбяка в минуту...125–359*

*Наибольший угол наклона винтового зуба в град ... 23*

*Наибольший ход долбяка в мм ...125*

*Пределы величин круговых подач на двойной ход долбяка в мм...0,17–0,44*

*Мощность главного электродвигателя в кВт...2,8*

**Основные узлы станка** (рисунок 7.19). *А* – нижняя часть станины; *Б* – делительная гитара; *В* – верхняя часть станины; *Г* – кривошипно-шатунный механизм привода шпинделя с долбяком; *Д* – шпиндельная головка; *Е* – механизм радиальной подачи шпиндельной головки; *Ж* – стол.

**Органы управления.** *1* – квадрат для ручного перемещения шпиндельной головки; *2* – квадрат для ручного поворота долбяка и заготовки; *3* – рычаг для изменения направления вращения долбяка и заготовки; *4* – кнопочная станция; *5* – рычаг включения радиальной подачи долбяка; *б* – квадрат для ручного поворота кулачка радиальной подачи долбяка.

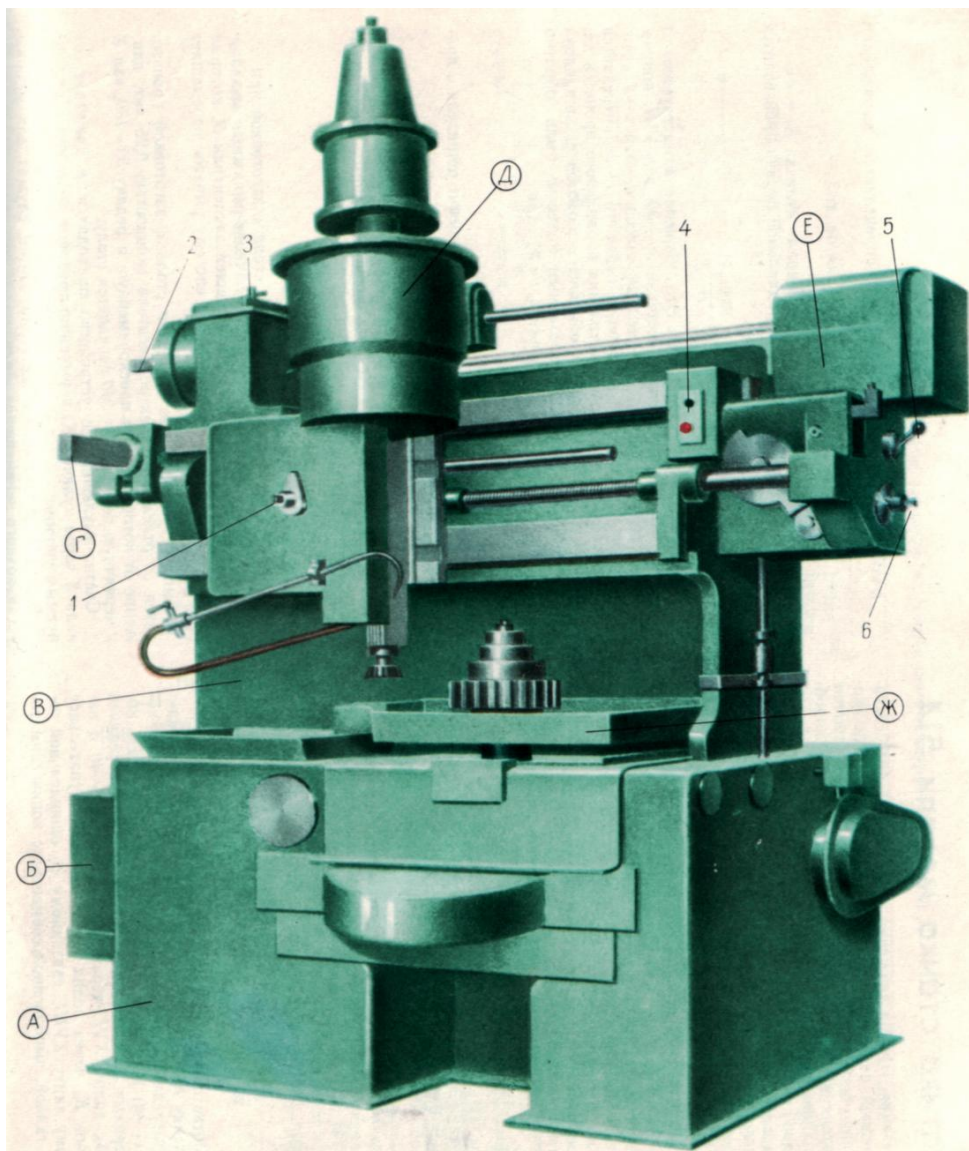


Рисунок 7.19 – Общий вид зубодолбежного станка модели 514

*Движения в станке.* Движение резания – прямолинейное возвратно-поступательное движение шпинделя с долбяком. Движения подачи – вращение долбяка относительно своей оси (круговая подача) и радиальное перемещение шпиндельной головки в период врезания (радиальная подача). Движением деления и обкатки является согласованное движение стола с заготовкой. Вспомогательные движения – отвод стола с заготовкой от долбяка в момент его обратного хода и быстрое установочное вращение стола с заготовкой. К вспомогательным движениям следует также отнести движение счетного механизма для автоматического выключения станка.

**Принцип работы.** Станок модели 514 работает по методу обкатки, воспроизводя зацепление двух цилиндрических колес, одно из которых является режущим инструментом (долбяком), а второе заготовкой. Долбяк закрепляется на конец шпинделя и получает прямолинейное возвратно-поступательное движение. При движении вниз долбяк совершает рабочий ход, снимая стружку с заготовки. Обратный ход долбяка является холостым; в это время стол с заготовкой отводится на небольшое расстояние от долбяка.

К моменту начала рабочего хода стол возвращается в исходное положение.

Обрабатываемая деталь или комплект одновременно обрабатываемых деталей устанавливается на оправке в шпинделе стола. Соотношение чисел оборотов долбяка и заготовки обратно пропорционально отношению чисел их зубьев, т. е. они вращаются так, как будто действительно находятся в зацеплении.

До начала обработки долбяк подводится вплотную к наружной поверхности заготовки. После этого включается радиальная подача шпиндельной головки для обеспечения врезания долбяка в заготовку на требуемую глубину. По окончании врезания радиальная подача прекращается, и заготовка в течение полного оборота нарезается только с круговой подачей.

В зависимости от величины модуля нарезаемого колеса его обработка осуществляется в один, два и три прохода. При многопроходной обработке процесс врезания повторяется перед каждым проходом.

При нарезании зубчатых колес с косыми зубьями используют винтовые направляющие и косозубые долбяки. В этом случае долбяк совершает возвратно-винтовое движение в соответствии с углом наклона зубьев нарезаемого колеса. Направление наклона зубьев долбяка должно быть противоположным направлению наклона зубьев нарезаемого колеса.

Станок работает по полуавтоматическому циклу, для чего служит специальный храповой счетный механизм, обеспечивающий автоматическое выключение станка по окончании нарезания зубчатого колеса.

**Вертикальный зубофрезерный станок модели 5Д32.** Станок предназначен для нарезания цилиндрических зубчатых колес с прямыми и косыми зубьями и для нарезания червячных колес как методом радиальной, так и методом тангенциальной подачи. При наличии специальных приспособлений возможно нарезание шестерен внутреннего зацепления.

**Техническая характеристика станка:**

**Наибольший диаметр нарезаемых колес** в мм...800

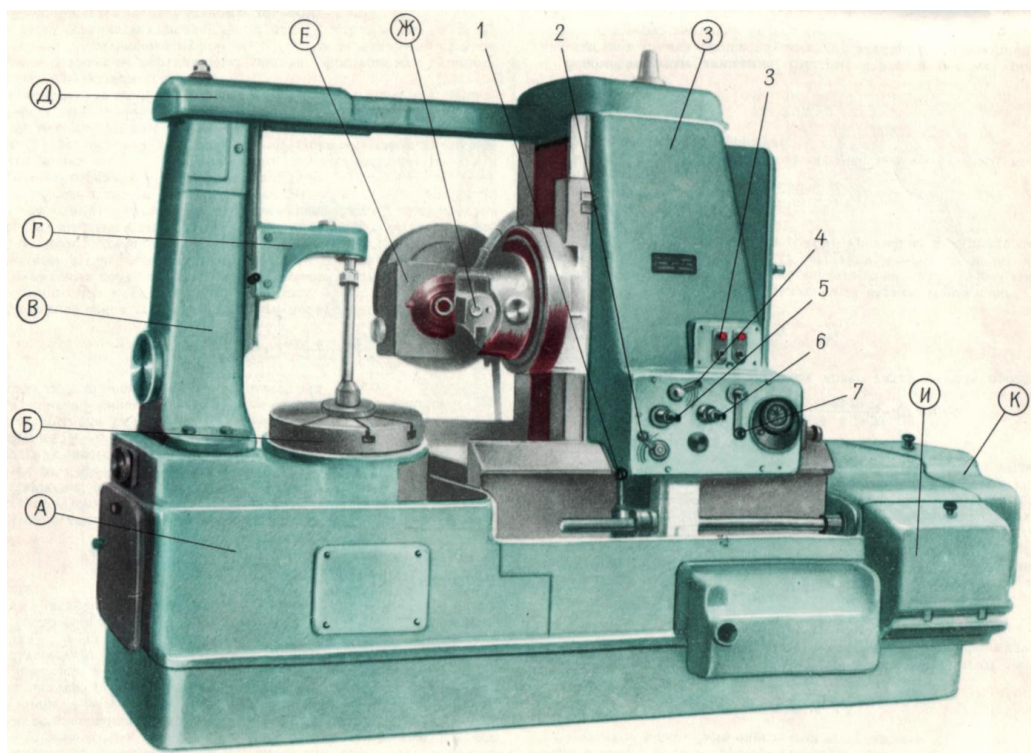


Рисунок 7.20 – Общий вид зубофрезерного полуавтомата модели 5Д32

**Пределы модулей зубьев нарезаемых колес** в мм:

по стали...2 – 6

по чугуну...2 – 8

**Наибольший угол наклона зуба нарезаемых колес** в град... $\pm 60$

**Наибольшая ширина нарезаемых колес** в мм...275

**Наибольший диаметр фрезы** в мм...120

**Пределы чисел оборотов шпинделя в минуту**...47,5 – 192

**Пределы подач за оборот стола** в мм:

вертикальных...0,5 – 3

радиальных...0,1 – 1

**Мощность главного электродвигателя** в кВт...2,8

**Основные узлы станка** (рисунок 7.20). А – станина; В – стол; В – стойка; Г – поддерживающий кронштейн; Д – поперечина; Е – фрезерный суппорт; Ж – протяжной суппорт; З – подвижная стойка; И – гитары дифференциала и подачи; К – делительная гитара.

**Органы управления.** 1 – рукоятка включения и выключения рабочих подач; 2 – рукоятка включения подачи при работе с протяжным суппортом; 3 – кнопочная станция; 4 – рукоятка включения вертикальной подачи фрезерного суппорта; 5 – квадрат для ручного вертикального перемещения подвижной стойки; 6 – квадрат для ручного горизонтального перемещения подвижной стойки; 7 – рукоятка включения радиальной подачи подвижной стойки.

**Движения в станке.** Движение резания – вращение шпинделя фрезерного суппорта с червячной фрезой. Движения подачи – вертикальное перемещение фрезерного суппорта Е, радиальное перемещение подвижной стойки З и тангенциальное перемещение протяжного суппорта Ж.

*Движением обкатки и деления* является непрерывное вращение стола с заготовкой. *Вспомогательные движения* – быстрые механические и ручные установочные перемещения фрезерного суппорта и подвижной стойки.

**Принцип работы.** Станок работает по методу обкатки, т.е. механического воспроизводства зацепления червяка (червячной фрезы) с колесом (заготовкой). Червячная фреза соответствующего модуля и диаметра закрепляется на оправке в шпинделе фрезерного суппорта.

Обрабатываемая деталь или комплект одновременно обрабатываемых деталей устанавливается на оправке в шпинделе стола, а при больших размерах колес – непосредственно на столе станка.

Червячной фрезе и заготовке принудительно сообщают вращательные движения с такими угловыми скоростями, которые они имели бы, находясь в действительном зацеплении.

При нарезании колес с прямыми зубьями ось шпинделя фрезерного суппорта устанавливается под углом к горизонтальной плоскости, равным углу подъема винтовой линии червячной фрезы. Для нарезания колес с косыми зубьями ось шпинделя фрезерной бабки устанавливается под углом, равным сумме или разности углов наклона зубьев колеса и подъема винтовой линии фрезы в зависимости от сочетания направлений винтовых линий зубьев и витков фрезы.

Нарезание цилиндрических колес производится с вертикальной подачей фрезерного суппорта.

Для обеспечения возможности фрезерования колес попутным методом на станке модели 5Д32 предусмотрено нагрузочное гидравлическое устройство.

Гидравлическое поджимное устройство состоит из неподвижного штока с поршнем и цилиндра, связанного с салазками фрезерного суппорта. При фрезеровании попутным методом масло подводится в верхнюю полость цилиндра противовеса и поджимает противовес вместе с фрезерным суппортом вверх, устраняя возможность произвольного перемещения фрезерной бабки под действием усилия в пределах зазора между резьбой винта вертикальной подачи и маточной гайки.

При нарезании червячных колес методом радиальной подачи используются цилиндрические червячные фрезы. Движение подачи сообщают подвижной стойке в радиальном направлении до тех пор, пока расстояние между осями фрезы и заготовками не станет равным межцентровому расстоянию передачи.

В случае нарезания червячных колес методом тангенциальной подачи применяются червячные фрезы с конической заборной частью, которые при настройке станка устанавливают сразу на заданное межцентровое расстояние; подачу при этом сообщают протяжному суппорту с червячной фрезой вдоль ее оси. Этот метод нарезания является более точным.

**Зубоострогательный станок модели 526.** Станок предназначен для черного и чистового нарезания прямозубых конических колес в условиях индивидуального и серийного производств.

**Техническая характеристика станка:**

**Наибольший диаметр обрабатываемых колес** в мм... 610;



**Модуль нарезаемых колес** в мм:

наибольший...8;

наименьший...1;

**Наибольшее передаточное отношение нарезаемых колес**...10 : 1;

**Наибольшая длина нарезаемого зуба** в мм...90;

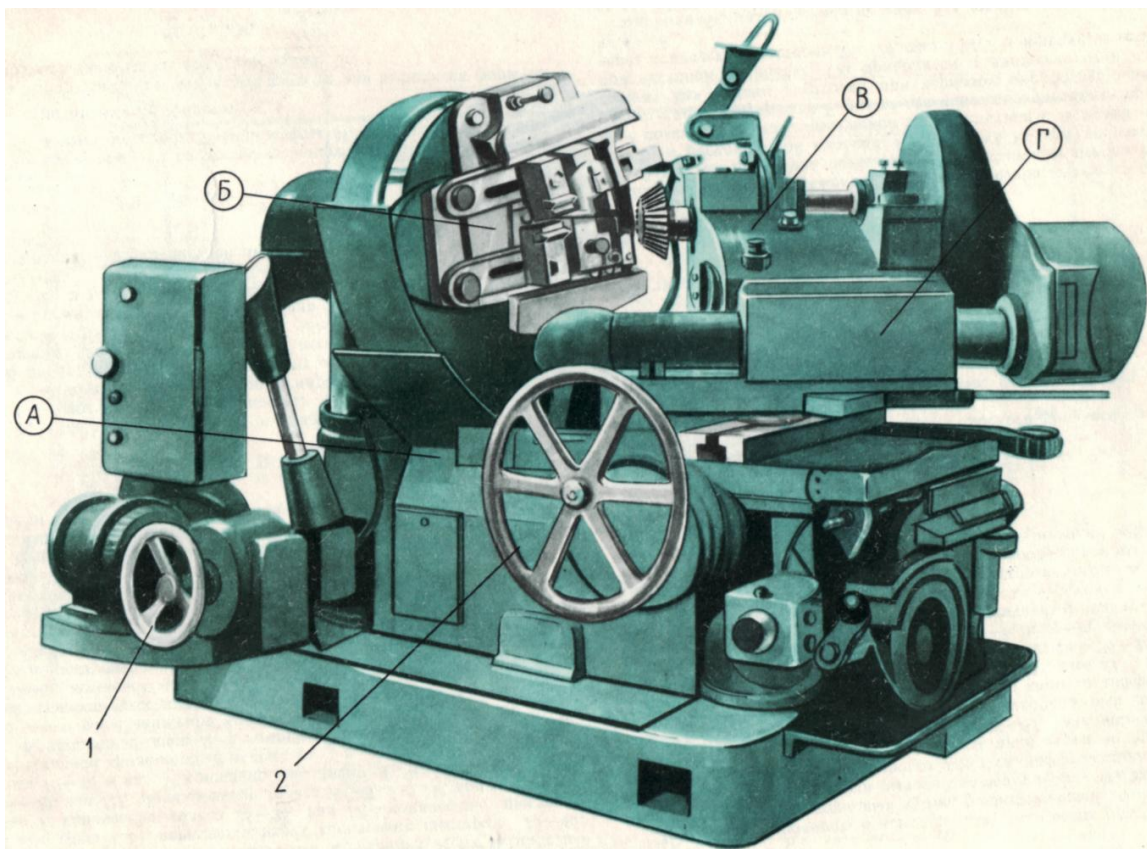
**Пределы чисел нарезаемых зубьев**...10 – 200;

**Пределы чисел двойных ходов резцов** в минуту...54–470;

**Угол делительного конуса:**

наименьший...5° 42';

наибольший...84° 18';



**Мощность электродвигателя** в кВт...2,8

Рисунок 7.21 – Общий вид зубострогального станка для конических колес модели 526

**Основные узлы станка** (рисунок 7.21). *A* – станина; *B* – люлька; *V* – бабка изделия; *G* – салазки бабки изделия.

**Органы управления.** *1* – маховичок ручного привода станка при настройке; *2* – маховичок ручного перемещения салазок бабки.

**Движения в станке.** *Движение резания* – возвратно-поступательное движение ползунов с резцами. *Движение подачи* – возвратно-поступательное движение люльки с резцами. *Движение обкатки* – медленное вращение заготовки в процессе обработки каждого зуба. *Вспомогательные движения* – периодический поворот заготовки на один или два зуба, механический отвод салазок баб-

ки изделия, вращение барабана управления и ручное установочное перемещение салазок бабки изделия.

**Принцип работы.** Работа станка основана на механическом воспроизводстве зацепления сопряженных конических зубчатых колес, одно из которых является воображаемым производящим колесом с прямобочным профилем зуба, подобным зубьям рейки. Режущими инструментами служат два резца с прямолинейными режущими кромками, воспроизводящие боковые грани двух соседних зубьев воображаемого производящего колеса.

Резцы закрепляются на ползунах и совершают возвратно-поступательное движение. Когда один из резцов совершает рабочий ход, второй двигается вхолостую. Поворотные направляющие ползунуов устанавливаются в соответствии с углом зуба.

Обрабатываемая деталь закрепляется на шпинделе бабки изделия, которую поворачивают так, чтобы образующая конуса впадины была параллельна плоскости, в которой расположены линии движения вершин резцов, и перемещают вдоль оси до совпадения вершин конусов нарезаемого колеса и производящего колеса. В процессе обработки заготовке сообщается обкаточное движение, строго согласованное с возвратно-вращательным движением люльки.

При поворотном движении люльки с резцами вниз происходит получистовая обработка зуба с оставлением небольшого припуска (0,5–0,8 мм), который снимается во время чистового прохода при поворотном движении люльки вверх.

По окончании обработки каждого зуба салазки с заготовкой отводятся от резцов, после чего заготовке сообщается делительный поворот.

Для этой цели в станке модели 526 предусмотрен дифференциальный механизм. Начало процесса деления совпадает с моментом подхода люльки с резцами вверх, конец деления происходит в момент, когда люлька начинает двигаться вниз. По окончании делительного поворота салазки с заготовкой подводятся резцам, и цикл работы повторяется.

Подвод и отвод салазок с заготовкой осуществляется специальным барабаном отвода салазок и кулисой. Для реверсирования поворота люльки с резцами и включения дифференциала в станке предусмотрен барабан управления.

Процесс нарезания с последующими делительными поворотами многократно повторяется до окончательной обработки всего зубчатого колеса.

Ручное установочное перемещение салазок бабки изделия осуществляется маховичком 2 через пару шестерен с внутренним зацеплением и реечную передачу.

Станок работает по полуавтоматическому циклу.

**Конструктивные особенности.** Достоинством станка модели 526 является простота и жесткость конструкции, что обеспечивает его широкое применение для выполнения тяжелых работ.

Для устранения зазоров, возникающих в зубчатых колесах при реверсировании кинематической цепи и могущих вызвать поворот заготовки относительно резцов, в станке предусмотрено наличие уравнильной муфты.

**Зуборезный полуавтомат модели 525.** Станок предназначен для чистового и чернового нарезания конических зубчатых колес с круговыми зубьями, гипоидных колес и шестерен полуобкатных передач на скоростных режимах с высокой степенью точности обработки.

Наиболее целесообразно применение станка в условиях массового и серийного производства.

**Техническая характеристика станка:**

**Наибольший диаметр обрабатываемых колес** в мм...500

**Наибольший модуль обрабатываемых колес** в мм...10

**Наибольшая ширина обрабатываемых колес** в мм...65

**Пределы чисел нарезаемых зубьев**...4 – 100

**Наибольшее передаточное отношение нарезаемых колес**...10:1

**Угол делительного конуса:**

наименьший...5°30'

наибольший...84°

**Наибольшая длина образующей начального конуса** в мм...250

**Диаметр резцовой головки** в мм:

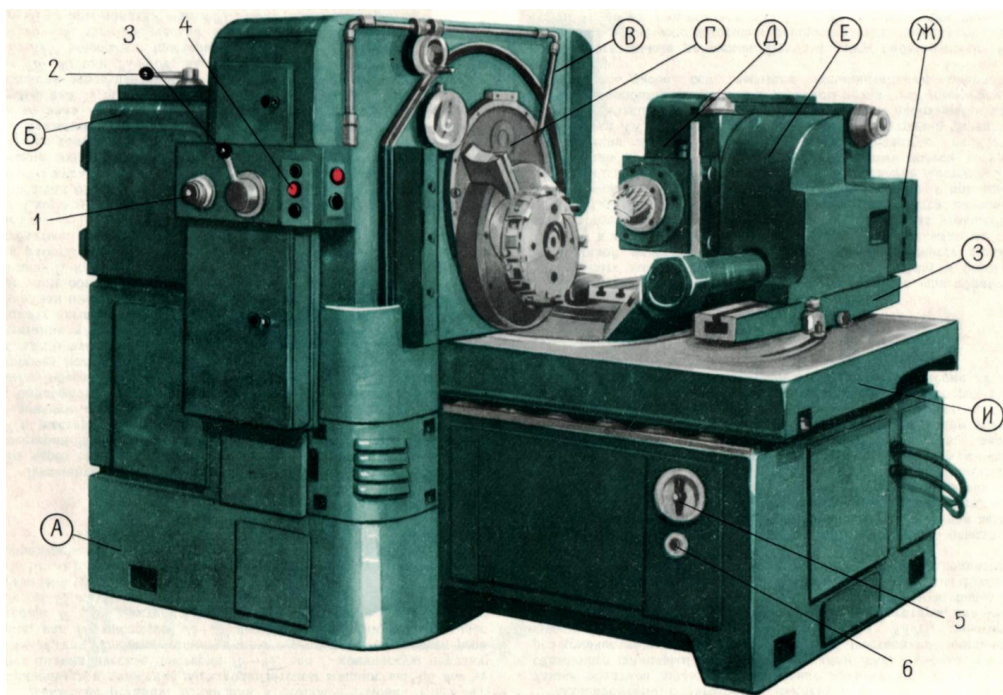
наименьший...150

наибольший...300

**Пределы чисел оборотов инструментального шпинделя в минуту:** 25–325

**Мощность электродвигателя** в кВт...4,5

**Основные узлы станка** (рисунок 7.22). *А* – основание станины; *Б* – приводная коробка; *В* – стойка станины; *Г* – обкатная люлька; *Д* – вертикальный



суппорт; *Е* – бабка изделия; *Ж* – сменные колеса гитары деления; *З* – поворотная плита; *И* – стол.

Рисунок 7.22 – Общий вид зуборезного полуавтомата для конических колес модели 525

**Органы управления.** 1 – счетчик циклов; 2 – рукоятка переключения привода быстрых перемещений; 3 – рукоятка подвода и отвода стола и зажима заготовки; 4 – кнопочная станция; 5 – главный выключатель станка; 6 – кнопка пуска электродвигателя гидравлики.

**Движения в станке.** Движением резания является вращение резцовой головки. Движение подачи – перемещение бабки с изделием в направлении резцовой головки. Движением обкатки и деления является медленное вращение обрабатываемой заготовки и поворот обкатной люльки со шпинделем резцовой головки. Механический отвод салазок бабки изделия является вспомогательным движением.

**Принцип работы.** Станок работает как по методу обкатки, так и по методу врезания.

Черновое нарезание зубьев производят методом врезания, при котором образование зубьев осуществляется путем постепенного приближения заготовки к инструменту. В этом случае величина обкатки берется очень малой, необходимой только для того, чтобы после каждого цикла инструмент попадал в соседнюю впадину. Быстрый подвод стола заменяется медленной рабочей подачей, при которой режущий инструмент (резцовая головка) постепенно врезается в заготовку. По достижении полной глубины впадины стол быстро отводится и обкатная люлька поворачивается в обратную сторону.

Метод обкатки используется при чистовом нарезании. При этом необходимо наличие двух движений; движения резания и движения обкатки. Обкаточное движение продолжается в течение всего времени, необходимого для обработки одной впадины. После этого заготовка отводится от инструмента, а люлька, несущая резцовую головку с инструментом, быстро поворачивается в обратном направлении до исходного положения. Заготовка при этом продолжает вращаться в ту же сторону, что и во время обработки. Благодаря этому за время холостого хода люльки заготовка успевает повернуться на определенное число зубьев.

Для нарезания на заготовке всех зубьев необходимо, чтобы они при каждом цикле поворачивались на целое число зубьев, не имеющее общих множителей с числом зубьев нарезаемого колеса. При несоблюдении этого условия инструмент после каждого цикла не будет попадать в новую впадину.

По окончании обработки всех впадин станок автоматически останавливается.

Наличие механизма модификации обкатки позволяет производить нарезание шестерен для полуобкатных передач, а также шестерен с большой длиной образующей начального конуса.

**Конструктивные особенности.** Отличительной особенностью полуавтомата 525 является отсутствие реверсирования заготовки, непрерывный процесс деления заготовки и реверсирование обкатной люльки с помощью составного колеса.

Время холостого хода не зависит от продолжительности цикла обработки.

В станке модели 525 холостой ход может осуществляться с двумя скоростями; при нарезании шестерни с  $z < 15$  продолжительность холостого хода составляет 5 сек/зуб, при нарезании шестерни с  $z \geq 16$  – 2,5 сек/зуб.

Перемещение стола с обрабатываемой заготовкой, крепление заготовки на оправке в шпинделе бабки изделия и переключение фрикционной муфты осуществляются гидроприводом.

**Зубоотделочный тонкострогальный (шевинговальный) станок модели 5715.** Станок предназначен для окончательной отделки шевингованием зубьев сырых и улучшенных зубчатых колес с прямыми и винтовыми зубьями, как наружного, так и внутреннего зацепления в условиях массового и крупносерийного производства. При наличии дополнительной качающейся плиты возможно получение бочкообразных зубьев (рисунок 7.23).

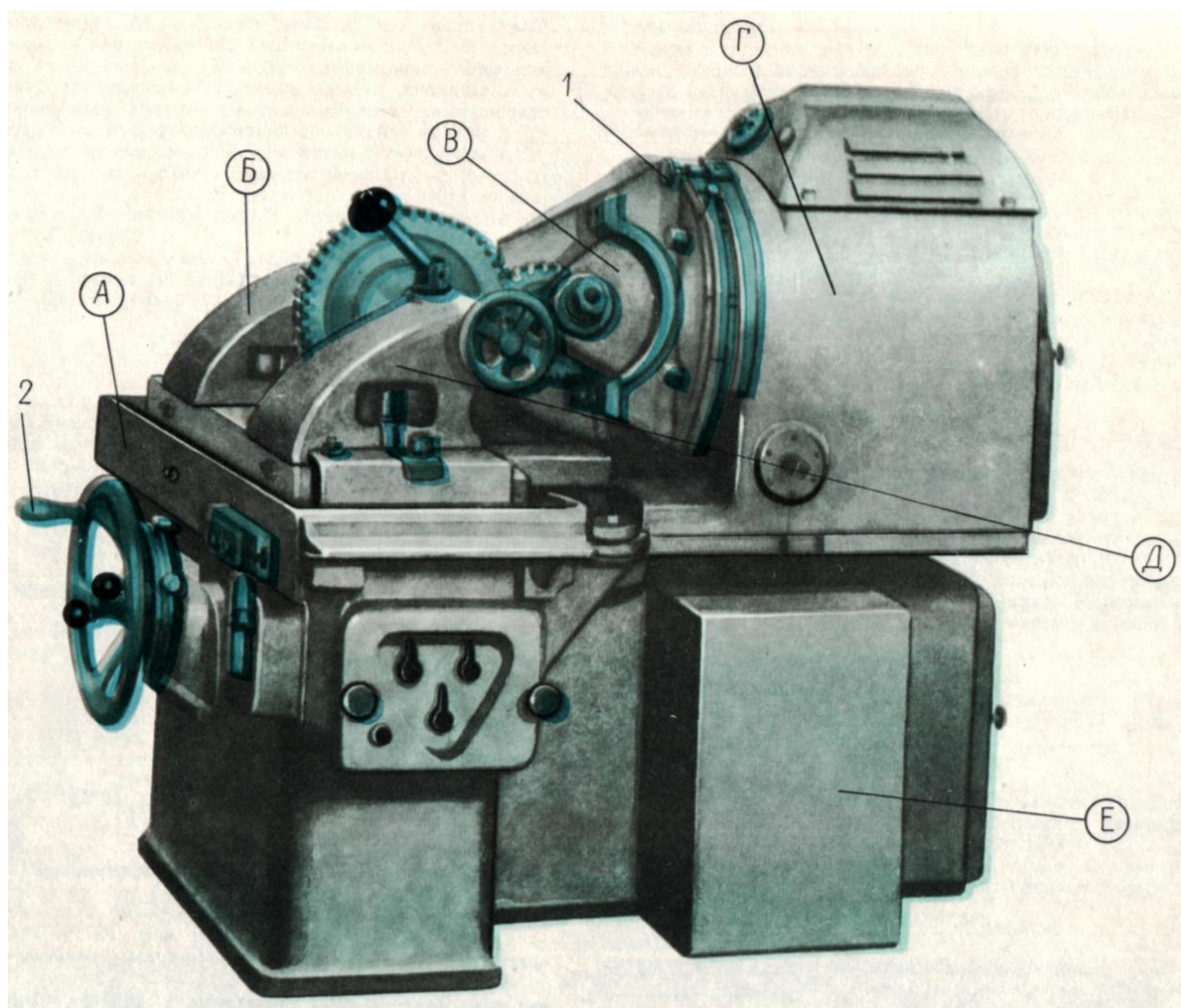


Рисунок 7.23 – Общий вид зубоотделочного шевинговального станка модели 5715

**Техническая характеристика станка:**

**Наибольший модуль** в мм...8

**Диаметр обрабатываемого колеса** в мм:

наибольший...450

наименьший...150

**Наибольшая ширина обрабатываемого колеса** в мм...120

**Расстояние между центрами бабок** в мм:

наибольшее...465

наименьшее...180

**Диаметр шевра** в мм...250

**Наибольший угол поворота головки** в град...45

**Число скоростей вращения шпинделя**...5

**Пределы чисел оборотов шпинделя** в минуту...118–294

**Количество величин продольных подач стола**...8

**Количество двойных ходов стола в минуту:**

наибольшее...250

наименьшее...50

**Количество величин радиальных подач**...4

**Величина радиальной подачи на ход стола** в мм:

наибольшая...0,08

наименьшая...0,02

**Мощность главного электродвигателя** в кВт...2,2

Основные узлы станка (рисунок 7.23). *А* – стол; *Б* и *Д* – бабки изделия; *В* – поворотная головка шевра; *Г* – стойка; *Е* – станина.

**Органы управления.** *1* – механизм поворота головки шевра; *2* – маховичок для ручного перемещения стойки в радиальном направлении.

**Движения в станке.** Движением резания в шевинговальных станках является относительное движение скольжения зубьев шевра и обрабатываемого колеса, величина которого зависит как от скорости вращения шевра, так и от угла между осями шевра и обрабатываемого колеса. Движениями подачи являются прямолинейное возвратно-поступательное движение стола с заготовкой вдоль ее оси и периодическое радиальное перемещение стойки с шевером в поперечном направлении. Движение обкатки – свободное вращение шевингуемого колеса. Вспомогательные движения – ручной поворот головки шевра и ручное перемещение стойки.

**Принцип работы.** Шевер закрепляется на шпинделе поворотной головки, шевингуемое колесо – на оправке в центрах бабок изделия. Поворотная головка шевра устанавливается так, чтобы ось шпинделя составила с осью оправки угол, равный алгебраической сумме углов наклона зубьев шевра и обрабатываемого колеса.

В процессе работы шеверу сообщается принудительное вращение, а обрабатываемое колесо, находящееся с ним в постоянном зацеплении, получает свободное обкатное вращение; при этом вследствие наличия бокового скольжения зубьев происходит снятие тонкой стружки с зубьев заготовки.

Длина хода стола в продольном направлении должна быть немногим больше ширины шевингуемого колеса. Для обеспечения непрерывности обработки в конце каждого хода стойке сообщается радиальное перемещение. После снятия всего припуска на обработку радиальная подача прекращается, а продольная подача стола продолжается еще в течение нескольких проходов для окончательной зачистки и прикатки боковых поверхностей зубьев.

**Конструктивные особенности.** Станок модели 5715 в отличие от некоторых других моделей является бесконсольным, что повышает точность и чистоту обработки боковых зубьев шевингуемых зубчатых колес.

Радиальная периодическая подача в станке модели 5715 осуществляется перемещением шевинговальной бабки по горизонтальным направляющим станины, имеющей в плане форму буквы Т.

Разворот шевинговальной головки на нужный угол производится относительно горизонтальной оси, расположенной перпендикулярно оси бабок изделия, что создает более благоприятные условия наладки и работы станка.

Шпиндель смонтирован в корпусе поворотной головки шевинговальной бабки на прецизионных радиально-упорных подшипниках, обеспечивающих высокую точность вращения шевера.

## 7.6 Протяжные станки [4]

Протяжные станки широко применяются во всех отраслях машиностроения при массовом и крупносерийном масштабе производства для точной обработки отверстий любого профиля, прорезания узких пазов, которые трудно изготовить иным способом, для изготовления зубчатых колес с внутренним зацеплением, для прорезания прямых и винтовых пазов и канавок в отверстиях и т. д. Протяжные станки применяются также для обработки наружных плоских и фасонных поверхностей небольшой ширины, для прорезания наружных канавок, для нарезания мелко модульных колес и реек и других работ.

Протяжные станки делятся на отдельные типы по следующим признакам: а) по назначению – для внутреннего и для наружного протягивания; б) по направлению рабочего движения – на горизонтальные и вертикальные; в) по количеству кареток – с одной, с двумя или несколькими каретками.

В протяжных станках рабочим движением является прямолинейное движение инструмента – протяжки, которая имеет форму стержня с расположенными вдоль него режущими зубьями соответствующего профиля. Зубья могут быть расположены либо на одной стороне протяжки (рисунок 7.24, а – протяжка для прорезания шпоночной канавки в отверстии), либо по всему контуру (рисунок 7.24, б – протяжка для обработки круглого отверстия).

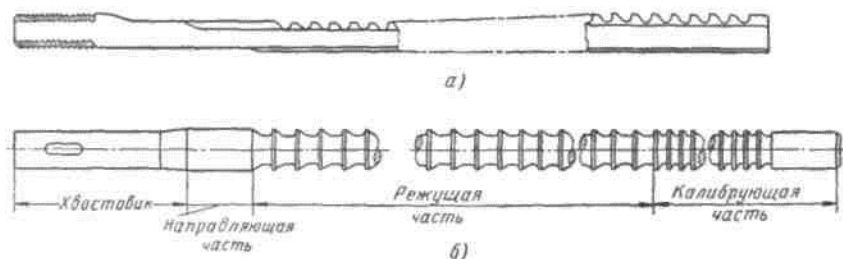


Рисунок 7.24 – Схемы протяжек

Так как каждый последующий зуб протяжки имеет размеры, несколько большие, чем предыдущий, то протяжные станки не имеют механизма подачи: она обеспечивается подъемом зубьев.

Все протяжные станки работают по полуавтоматическому (редко – по автоматическому) циклу.

Основным параметром, характеризующим протяжные станки, является наибольшее усилие протягивания, достигающее 30 – 40 т у станков средних размеров и 120 т у крупных станков. Другой важный параметр станков – максимальная длина протягивания (максимальная длина хода протяжки), колеблющаяся в протяжных станках общего назначения в пределах 350–2000 мм.

**Горизонтально-протяжные станки для внутреннего протягивания.** Во всех современных протяжных станках движение сообщается протяжке при помощи гидравлического привода. В горизонтально-протяжном станке, показанном на рисунке 7.25, на нижней станине 9, в которой расположен масляный резервуар, укреплена верхняя станина 4, снабженная направляющими, по которым перемещается каретка 5 с ползуном, несущим патрон для крепления протяжки. С правой стороны верхняя станина имеет фланец 7, на который опирается обрабатываемая деталь, прижимаемая к нему усилием резания. К станине прикреплено корыто 8 с направляющими для люнета, поддерживающего длинные протяжки. Внутри нижней станины 9 расположены электродвигатель 10 и гидронасос 1, подающий жидкость в гидроцилиндр 2. Поршень гидроцилиндра штоком 3 соединен с кареткой 5. Станок снабжен штангой переключения 6 с переставными рычажками, которые поворачиваются упорами ползуна и действуют на конечный выключатель для останова станка в конце его рабочего или обратного хода.

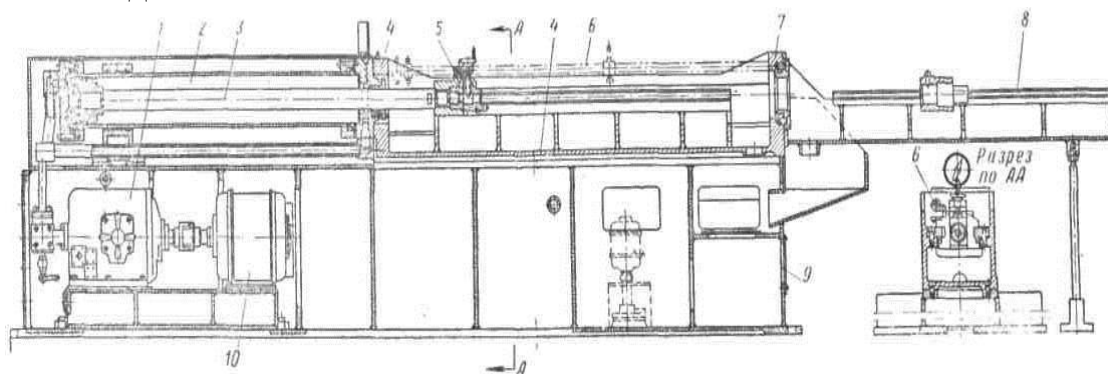


Рисунок 7.25 – Горизонтально-протяжной станок

Скорость движения протяжки зависит от количества жидкости, поступающей в гидроцилиндр станка в единицу времени, и от живого сечения цилиндра:

$$S = \frac{10Q}{F} \text{ м/мин,} \quad (7.1)$$

где  $Q$  – количество масла, поступающего в гидроцилиндр, в л/мин;  $F$  – живое сечение цилиндра в см<sup>2</sup>.

Как видно из формулы (7.1), регулировать скорость протягивания можно, соответственно изменяя количество  $Q$  масла, поступающего в гидроцилиндр.

В станках, снабженных насосом с постоянной производительностью, количество масла, поступающего в гидроцилиндр станка, регулируется дроссельным клапаном. Привод этого типа схематически показан на рисунке 7.26.



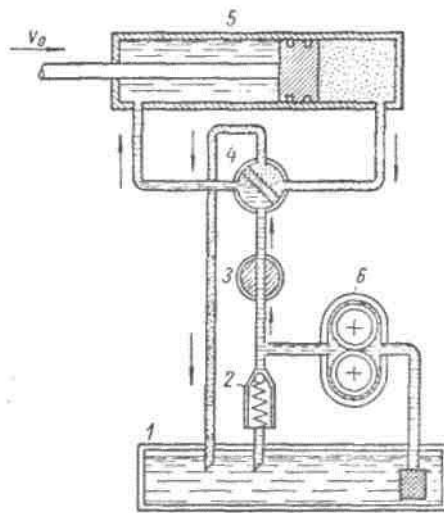


Рисунок 7.26 – Схема гидропривода станка

Масло из резервуара 1 насосом 6 подается через дроссель 3 и реверсивный клапан 4 в левую полость гидроцилиндра 5. В это время масло из правой полости цилиндра сливается через клапан 4 в резервуар. Для получения максимальной скорости движения дроссель 3 открывается на полную пропускную способность, и все масло, нагнетаемое насосом 6, поступает в цилиндр 5. Для уменьшения скорости движения поршня поворотом дроссельного клапана уменьшается его пропускная способность. При этом в трубопроводе между насосом и дросселем образуется повышенное давление, благодаря чему часть масла сливается в резервуар 1 через переливной пружинный клапан 2.

На рисунке 7.27, а и б показаны две гидросхемы горизонтально-протяжных станков, из которых первый работает от двух насосов постоянной производительности, второй – от поршневого насоса с регулируемой производительностью.

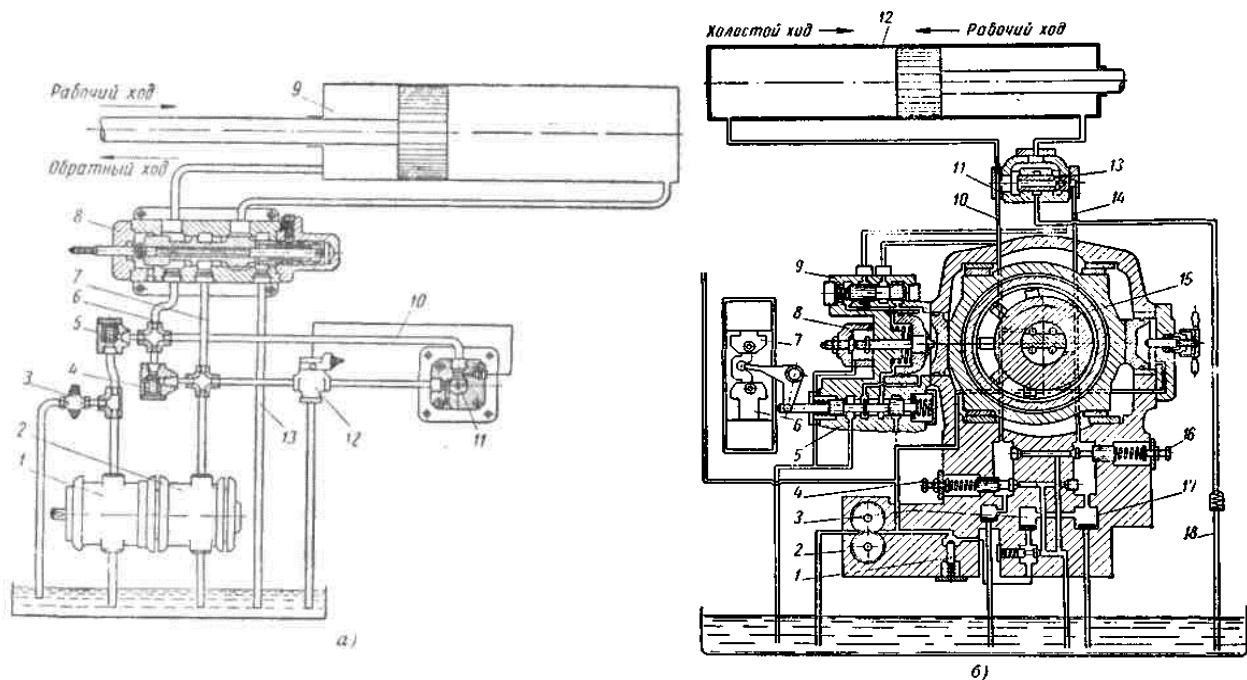


Рисунок 7.27 – Гидросхемы протяжных станков

В гидросхеме, данной на рисунке 7.27, *a* (станок мод. 7510), имеется 2 лопастных насоса 1 и 2 постоянной производительности (каждый на 32 л/мин). В работу может быть включен один или оба насоса. Для получения при рабочем ходе станка малых скоростей масло подается в левую полость цилиндра 9 лишь из насоса 2 через клапан 12, дроссель 11, трубопроводы 10 и 6, золотник 8. При этом кран 3 открыт, и масло, подаваемое насосом 1, возвращается в резервуар. Для получения больших скоростей протягивания масло подается в цилиндр 9 одновременно обоими насосами. Для этого кран 3 закрывается, и масло из насоса 1 поступает в левую полость цилиндра 9 через обратный клапан 5, трубопровод 6 и золотник 8 и добавляется, таким образом, к маслу, нагнетаемому насосом 2 и регулируемому дросселем 11. При рабочем ходе станка золотник 8 устанавливается в крайнее левое положение.

Регулируя сечение дросселя 11, устанавливают нужную скорость протягивания, в данном станке при работе одного насоса она равна от 0,5 до 3,75 м/мин, при работе обоих насосов – от 3,75 до 7,5 м/мин.

Для выключения движения каретки золотник 8 переводится в среднее положение. Масло из насоса 1 через обратные клапаны 5 и 4 и трубопровод 7 поступает в золотник 8, туда же из насоса 2 поступает масло через трубопровод 7. Из золотника 8 масло, нагнетаемое обоими насосами, сливается в резервуар по трубопроводу 13. Для сообщения поршню со штоком обратного хода золотник 8 ставится в правое положение, и масло из обоих насосов поступает в правую полость цилиндра 9.

Гидросхема, данная на рисунке 7.27, *o* (станок мод. 7520), работает от радиального поршневого насоса 15 с регулируемой производительностью. При рабочем ходе протяжки масло засасывается насосом 15 через клапан 17 и подается в правую полость гидроцилиндра 12 через трубопровод 14 и золотник автоматического управления 11. Поршень 13 золотника 11 устанавливается в левое положение, и масло из левой полости цилиндра 12 уходит через трубопровод 10 обратно в резервуар. В конце рабочего хода кулачок каретки включает соленоид 7, который переключает реверсивный золотник 5, и насос 15 начинает засасывать масло через клапан 3 и подавать его в левую полость гидроцилиндра через трубопровод 10 и золотник 11 – протяжка получает обратный холостой ход. В конце этого хода кулачок каретки включает соленоид 6, который через реверсивный золотник 5 переключает станок на рабочий ход. Золотник 9 служит для останова движения путем соединения обеих полостей насоса 15. При помощи упора 8 фиксируется установленный эксцентриситет между ротором и статором насоса 15. Шестеренчатый насос 2 служит для подкачки масла в полость всасывания и для изменения эксцентриситета насоса. Гидросистема снабжена предохранительными клапанами 1, 4 и 16, автоматически открывающимися при повышении давления.

**Вертикально-протяжные станки для наружного протягивания.** Вертикально-протяжные станки строятся как для внутреннего, так и для наружного протягивания. Станки для наружного протягивания бывают с одним, двумя или несколькими ползунами, несущими протяжки. В станках с двумя ползунами протяжки работают поочередно, одновременно обрабатывается одно изделие.

Основными частями такого станка (рисунок 7.28) являются станина 5, два ползуна 3 и 4, несущие протяжки, привод 6, тумба 1, два стола 2 и механизм их подвод а и отвода.

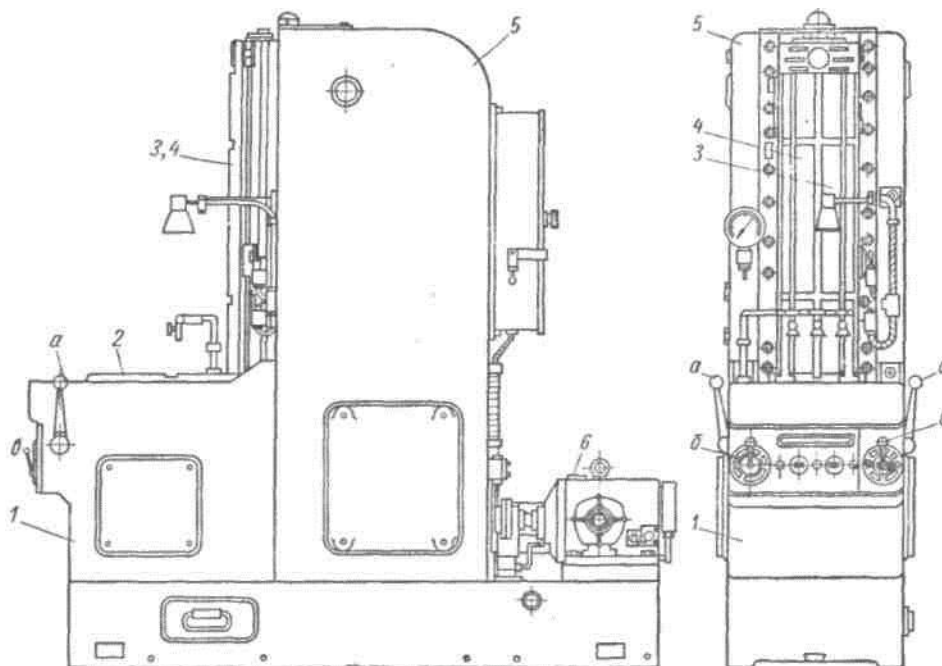


Рисунок 7.28 – Вертикально-протяжный станок для наружного протягивания мод. 7А705

Станок работает по следующему циклу. Заготовку закрепляют на одном из столов. Включают станок, и стол с заготовкой автоматически подводится к ползуну, несущему протяжку, автоматически включается рабочий ход этого ползуна, и происходит обработка детали. После этого стол и ползун автоматически отводятся в исходные положения, автоматически подводится ко второй протяжке второй стол, на котором во время обработки первой детали была закреплена вторая заготовка, и происходит обработка ее протяжкой. Настройка станка и управление им производятся следующими рукоятками (рисунок 7.28): *a* – включение станка; *b* – настройка скорости движения ползунунов и *в* – управление движениями столов.

Движения ползунунов и столов в станке по рисунку 7.28 осуществляются от гидропривода с поршневым насосом регулируемой производительности. Ползуны 6 (рисунок 7.29) получают рабочий ход по схеме: электродвигатель 10 – насос 11 – трубопровод 1 – золотник автоматического управления 9 – трубопровод III – верхняя полость цилиндра 4 – поршень со штоком 7 – ползун 6. В это время масло из нижней полости цилиндра 4 отводится в резервуар по трубопроводам IV и II через разгрузочный золотник 8.

Горизонтальное перемещение столы 5 получают от того же насоса 11 через трубопровод V (или VI), гидроцилиндр 2 и механический привод 3, состоящий из рейки, связанной со штоком цилиндра 2, реечного колеса и кривошипно-кулисного механизма. Охлаждающе-смазывающая жидкость подается к протяжке электронасосом 1 по трубопроводу VII.

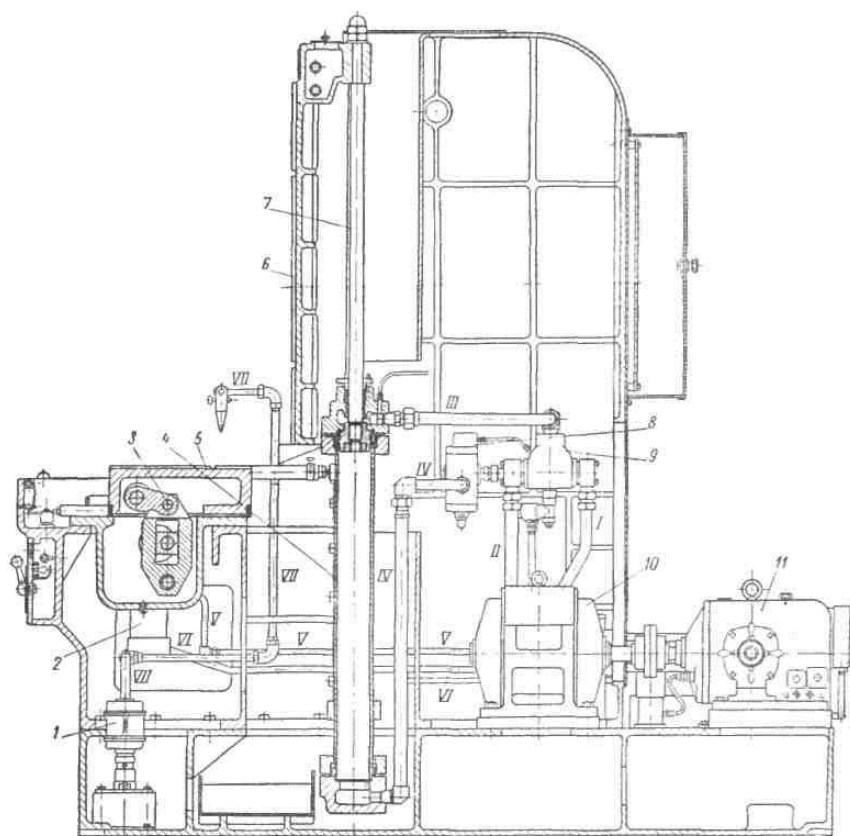


Рисунок 7.29 – Гидросхема вертикально-протяжного станка мод. 7А705

Высокопроизводительные вертикально-протяжные станки для наружного протягивания применяются в массовом производстве (рисунок 7.30, станок фирмы К. Клинк, ФРГ). Этот станок снабжен шестью одновременно работающими протяжками. Заготовки крепятся на поворотном столе и поочередно подводятся под непрерывно двигающиеся протяжки.

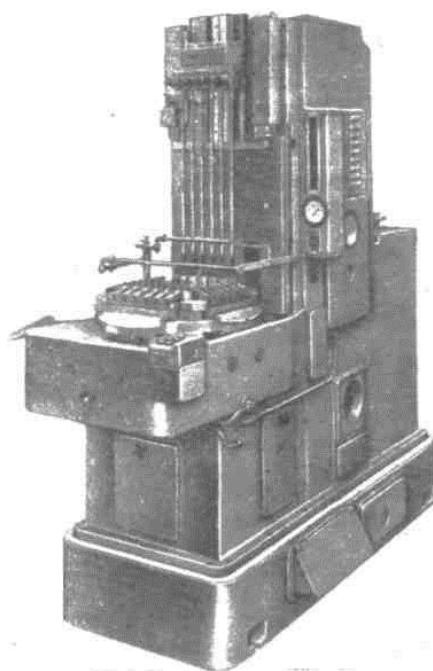


Рисунок 7.30 – Многопозиционный вертикально-протяжной станок

**Протяжные станки непрерывного действия.** Встречается несколько разновидностей протяжных станков непрерывного действия для наружного протягивания. На рисунке 7.31, *а* показан цепной протяжной станок, предназначенный для непрерывной обработки наружной поверхности деталей, которые закрепляются в специальных приспособлениях, установленных на бесконечной цепи. Детали обрабатываются протяжками, закрепленными на верхней части станины, и после обработки автоматически освобождаются из зажимных приспособлений.

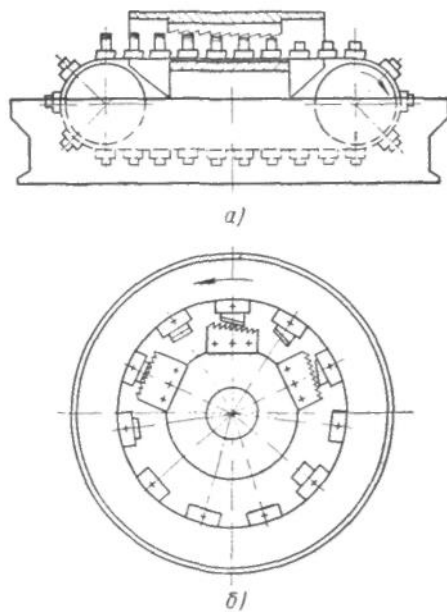


Рисунок 7.31 – Протяжные станки непрерывного действия (схема)

Станок, показанный на рисунке 7.31, *б*, служит для непрерывного протягивания поверхностей, представляющих часть кругового цилиндра. В этих станках протяжки могут располагаться либо в центральной части, либо по периферии вращающегося стола. На станках обоих последних типов закрепление заготовок и освобождение обработанных деталей по окончании обработки производится автоматически.

## ТЕМАТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ТЕСТИРОВАНИЯМ

### ТЕМА №1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

1. Система соединённых между собой тел, совершающих под действием приложенных к ним сил, определённые, заранее заданные движения, называется:

**Ответ:** 1) механизмом; 2) машиной; 3) аппаратом.

2. По классификации металлорежущих станков к 3 группе относятся:

**Ответ:** 1) Фрезерные; 2) Шлифовальные и доводочные; 3) Сверлильные и расточные.

3. Автоматизированная универсальная технологическая система, в основе которой находится станок с полным набором манипуляторов, контрольных и измерительных устройств, называется:

**Ответ:** 1) автоматом; 2) автоматической линией; 3) гибким производственным модулем.

4. Прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания, называется:

**Ответ:** 1) главным движением; 2) движением подачи; 3) вспомогательным движением.

5. Отношение угловой скорости (или частоты вращения) ведущего вала к угловой скорости (или частоте вращения) ведомого вала называется:

**Ответ:** 1) передаточным числом; 2) передаточным отношением; 3) механической передачей.

6. Когда передаточное отношение больше 1, механическая передача называется:

**Ответ:** 1) силовой; 2) повышающей; 3) понижающей; 4) кинематической.

7. Когда передаточное отношение меньше 1, механическая передача называется:

**Ответ:** 1) силовой; 2) повышающей; 3) понижающей; 4) кинематической.

8. Условное графическое обозначение совокупности рабочих органов, источников движения, кинематических пар, звеньев и их связей называется:

**Ответ:** 1) кинематической схемой; 2) структурной схемой; 3) принципиальной схемой.

9. В структурных схемах буквой «М» обозначается:

**Ответ:** 1) суммирующий механизм; 2) электродвигатель; 3) реечный механизм.

10. Ременная передача применяется между:

**Ответ:** 1) пересекающимися валами; 2) перекрещивающимися валами; 3) параллельными валами.

11. Ременная передача с натяжным роликом применяется для:

**Ответ:** 1) получения большего передаточного числа; 2) получения меньшего передаточного числа; 3) получения большего усилия натяжения.

12. По результатам анализа данных практической эксплуатации ременных передач можно утверждать, что передача работает нормально, если угол обхвата...

**Ответ:** 1) меньше  $120^\circ$ ; 2) не меньше  $120^\circ$ ; 3) равен  $120^\circ$ .

13. Общее передаточное отношение многоступенчатой ременной передачи определяется как:

**Ответ:** 1) произведение передаточных отношений всех ее ступеней; 2) сумма передаточных отношений всех ее ступеней; 3) частное передаточных отношений всех ее ступеней.

14. Передачи, позволяющие в определённых пределах бесступенчато изменять передаточное отношение, называют:

**Ответ:** 1) редукторами; 2) мультипликаторами; 3) вариаторами.

15. К передачам с гибкой связью относятся:

**Ответ:** 1) ременная передача; 2) цепная передача; 3) зубчатая передача.

16. Длина отрезка дуги делительной окружности, равная длине всей делительной окружности, разделённой на число зубьев, называется:

**Ответ:** 1) линейным шагом; 2) модулем; 3) окружным шагом.

17. Отношение окружного шага к числу  $\pi$  называется:

**Ответ:** 1) линейным шагом; 2) модулем; 3) делительным диаметром.

18. Произведение модуля на число зубьев называется:

**Ответ:** 1) линейным шагом; 2) окружным шагом; 3) делительным диаметром.

19. Для передачи вращения между пересекающимися валами применяются:

**Ответ:** 1) конические зубчатые колеса; 2) червячная передача; 3) реечная передача.

20. Для преобразования вращательного движения в поступательное движение и наоборот применяются:

**Ответ:** 1) конические зубчатые колеса; 2) передача винт – гайка; 3) реечная передача.

## ТЕМА №2. МЕХАНИЗМЫ ПРИВОДА СТАНКОВ

21. Данный механизм носит следующее название:

**Ответ:** 1) винт-гайка; 2) червяк-рейка; 3) зубчатое колесо-рейка.

22. Данный механизм предназначен для:

**Ответ:** 1) осуществления прямолинейного движения; 2) осуществления вращательного движения; 3) преобразования вращательного движения в поступательное.

23. Данный механизм носит следующее название:

**Ответ:** 1) винт-гайка; 2) червяк-рейка; 3) кулачковый механизм.

24. Данный механизм носит следующее название:

**Ответ:** 1) плоский кулачковый; 2) пространственный кулачковый; 3) кулачковый с ползуном-толкателем.

25. Данный механизм носит следующее название:

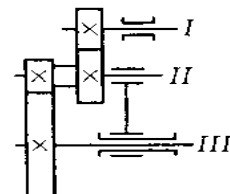
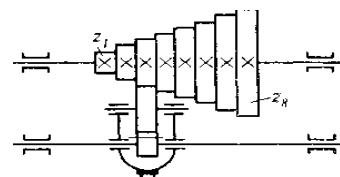
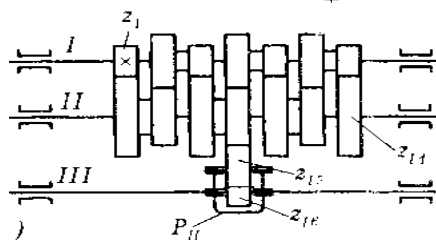
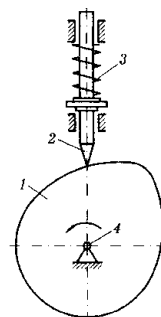
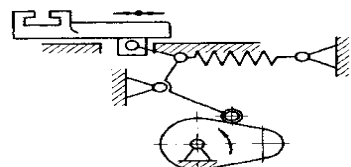
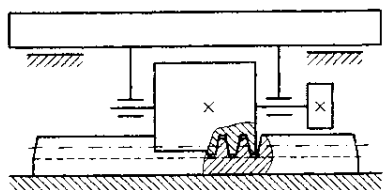
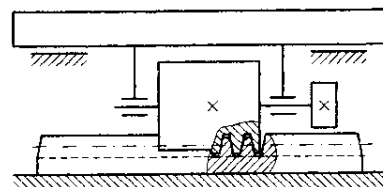
**Ответ:** 1) Нортона с накидным колесом; 2) Нортона с передвижным колесом; 3) Меандра с накидной рамкой; 4) Меандра с передвижным зубчатым колесом.

26. Данный механизм носит следующее название:

**Ответ:** 1) Нортона с накидным колесом; 2) Нортона с передвижным колесом; 3) Меандра с накидной рамкой; 4) Меандра с передвижным зубчатым колесом.

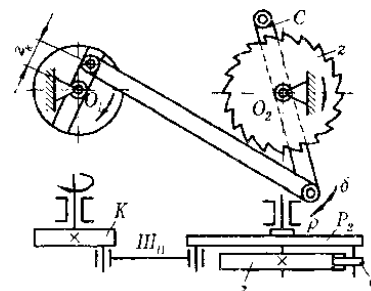
27. Данный механизм носит следующее название:

**Ответ:** 1) с передвижным блоком зубчатых колёс; 2) с блоком паразитных колёс; 3) гитара сменных колёс.



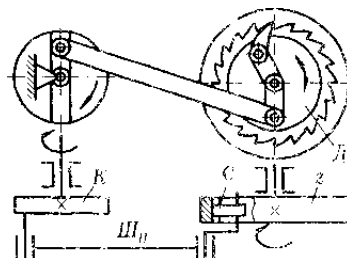
28. Данный механизм носит следующее название:

**Ответ:** 1) храповый с наружным зацеплением; 2) храповый с внутренним зацеплением; 3) храповый с торцовой храповой муфтой.



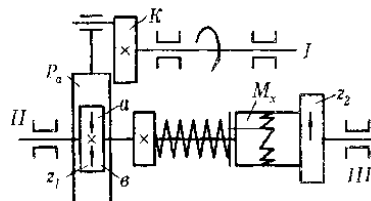
29. Данный механизм носит следующее название:

**Ответ:** 1) храповый с наружным зацеплением; 2) храповый с внутренним зацеплением; 3) храповый с торцовой храповой муфтой.



30. Данный механизм носит следующее название:

**Ответ:** 1) храповый с наружным зацеплением; 2) храповый с внутренним зацеплением; 3) храповый с торцовой храповой муфтой.



31. Передаточное число в мальтийском механизме есть величина:

**Ответ:** 1) обратная числу пазов в кресте; 2) равная числу пазов в кресте; 3) только целое число.

32. В механизме с однооборотной муфтой прерывистое движение ведомого вала обеспечивается за счёт:

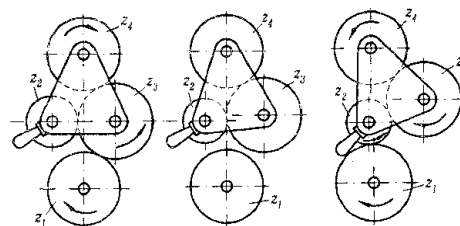
**Ответ:** 1) храпового механизма; 2) кулачкового механизма; 3) мальтийского механизма.

33. Механизм, позволяющий осуществлять при движении в одном направлении медленный ход, а в другом – быстрый, называется:

**Ответ:** 1) кривошипно-шатунный; 2) кривошипно-кулисный; 3) с качающейся кулисой; 4) с вращающейся кулисой.

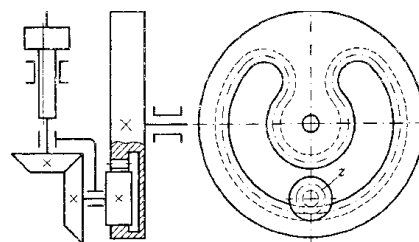
34. Данный механизм носит следующее название:

**Ответ:** 1) трензель; 2) с составным зубчатым колесом, внутреннего и наружного зацепления; 3) с двусторонней кулачковой муфтой.



35. Данный механизм носит следующее название:

**Ответ:** 1) трензель; 2) с составным зубчатым колесом, внутреннего и наружного зацепления; 3) с двусторонней кулачковой муфтой.



36. Дифференциальный механизм отличается от планетарного тем, что:

**Ответ:** 1) его упорное колесо может вращаться; 2) его сателлиты могут вращаться; 3) его солнечное колесо может вращаться.



37. Муфта обгона роликового типа передает крутящий момент:

**Ответ:** 1) в любом направлении вращения; 2) в одном направлении вращения; 3) при периодическом вращении.

38. Для постоянного или периодического соединения двух соосно вращающихся валов и для передачи при этом крутящего момента от одного вала к другому:

**Ответ:** 1) фрикционные муфты; 2) электромагнитные муфты; 3) зубчатые муфты; 4) резьбовые муфты.

39. Для полной остановки или замедления движения механизмов и шпинделя станка применяются:

**Ответ:** 1) дисковые тормоза; 2) ленточные тормоза; 3) зубчатые тормоза; 4) электромеханические тормоза.

40. Двойная торцевая фрикционная передача передаёт вращение с ведущего диска на ведомый с помощью:

**Ответ:** 1) перемещения конического диска; 2) перемещения раздвижных шкивов; 3) перемещения фрикционных роликов.

### ТЕМА №3. МЕТОДИКА АНАЛИЗА И НАСТРОЙКИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

41. В кинематического расчёт настройку и анализ кинематических цепей входит:

**Ответ:** 1) расшифровка модели станка; 2) составление схемы обработки; 3) определение назначения кинематических цепей; 4) определение крутящих моментов на валах передач кинематических цепей.

42. В кинематического расчёт настройку и анализ кинематических цепей входит:

**Ответ:** 1) запись названий кинематических цепей; 2) определение порядка передачи движения от ведущего к ведомому звену кинематической цепи; 3) определение количества скоростей движения ведомого звена; 4) определение крутящих моментов на валах передач кинематических цепей.

43. Разнообразные варианты передачи движения от ведущего звена к ведомому записываются условно в виде:

**Ответ:** 1) формулы кинематических связей; 2) структурной формулы; 3) уравнения кинематического баланса.

44. Выражение, которое аналитически выражает количество ступеней скоростей движения ведомого звена кинематической цепи многоступенчатой коробки передач, называется:

**Ответ:** 1) формулой кинематических связей; 2) структурной формулой; 3) уравнением кинематического баланса.

45. Количество ступеней скоростей движения ведомого вала равно:

**Ответ:** 1) отношению количества пар зубчатых колёс, участвующих в передаче движения между валами; 2) сумме количества пар зубчатых колёс, участвующих в передаче движения между валами; 3) произведению количества пар зубчатых колёс, участвующих в передаче движения между валами.

46. Выражение, которое аналитически увязывает между собой скорости движения ведущего и ведомого звеньев кинематической цепи через общее передаточное число цепи, называется:

**Ответ:** 1) формулой кинематических связей; 2) структурной формулой; 3) уравнением кинематического баланса.

47. Согласно структурной формуле количество валов равно:

**Ответ:** 1) количество кинематических пар + 1; 2) количество кинематических пар - 1; 3) количество кинематических пар + 2.

48. Общее передаточное число кинематической цепи состоит:

**Ответ:** 1) только из постоянной части; 2) из постоянной и переменной частей; 3) только из переменной части.

49. Общее передаточное число кинематической цепи можно выразить:

**Ответ:** 1) только из постоянной части; 2) как отношение чисел оборотов ведущего и ведомого звеньев цепи; 3) как отношение чисел оборотов ведомого и ведущего звеньев цепи.

50. Общее передаточное отношение кинематической цепи можно выразить:

**Ответ:** 1) только из постоянной части; 2) как отношение чисел оборотов ведущего и ведомого звеньев цепи; 3) как отношение чисел оборотов ведомого и ведущего звеньев цепи.

51. Уравнение кинематического баланса для анализируемой цепи скоростей можно записать как:

**Ответ:** 1) произведение общего передаточного числа и числа оборотов электродвигателя; 2) произведение чисел оборотов ведущего и ведомого звеньев цепи; 3) произведение общего передаточного отношения и числа оборотов электродвигателя.

52. Диапазон скоростей движения ведомого звена определяется как:

**Ответ:** 1) отношение минимального числа оборотов шпинделя к максимальному; 2) отношение максимального числа оборотов шпинделя к минимальному; 3) разница между максимальным числом оборотов шпинделя и минимальным.

53. При продольном точении на токарно-винторезном станке передача движения от шпинделя на суппорт осуществляется по цепи с ведомым звеном –

**Ответ:** 1) ходовым винтом продольной подачи; 2) ходовым винтом поперечной подачи; 3) реечным колесом.

54. При поперечном точении на токарно-винторезном станке передача движения от шпинделя на поперечные салазки суппорта осуществляется по цепи с ведомым звеном –

**Ответ:** 1) ходовым винтом продольной подачи; 2) ходовым винтом поперечной подачи; 3) реечным колесом.

55. При нарезании резьбы на токарно-винторезном станке передача движения от шпинделя на суппорт осуществляется по цепи с ведомым звеном –

**Ответ:** 1) ходовым винтом продольной подачи; 2) ходовым винтом поперечной подачи; 3) реечным колесом.

56. При продольном точении на токарно-винторезном станке скорость поступательного перемещения суппорта можно определить как:

**Ответ:** 1) произведение поперечной подачи на число оборотов шпинделя; 2) отношение продольной подачи к числу оборотов шпинделя; 3) произведение продольной подачи на число оборотов шпинделя.

57. При поперечном точении на токарно-винторезном станке скорость поступательного перемещения салазок суппорта можно определить как:

**Ответ:** 1) произведение поперечной подачи на число оборотов шпинделя; 2) отношение поперечной подачи к числу оборотов шпинделя; 3) произведение продольной подачи на число оборотов шпинделя.

58. При поперечном точении на токарно-винторезном станке значение поперечной подачи можно определить как:

**Ответ:** 1) произведение шага ходового винта на общее передаточное число кинематической цепи; 2) отношение шага ходового винта к общему передаточному числу кинематической цепи; 3) произведение шага ходового винта на общее передаточное отношение кинематической цепи.

59. При нарезании резьбы на токарно-винторезном станке общее передаточное число кинематической цепи равно:

**Ответ:** 1) произведению шага нарезаемой резьбы и шага ходового винта; 2) отношению шага нарезаемой резьбы к шагу ходового винта; 3) отношению шага нарезаемой резьбы к числу оборотов шпинделя.

60. При нарезании резьбы на токарно-винторезном станке шаг нарезаемой резьбы равен:

**Ответ:** 1) произведению шага ходового винта и общего передаточного числа; 2) отношению шага ходового винта и общего передаточного числа; 3) отношению шага ходового винта к числу оборотов шпинделя.

#### ТЕМА №4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

61. В структурной формуле  $K = 3(4) \cdot 2(1) \cdot 2(2)$  основной группой является:

**Ответ:** 1) первая; 2) вторая; 3) третья.

62. В структурной формуле  $K = 3(4) \cdot 2(1) \cdot 2(2)$  переборной группой является:

**Ответ:** 1) первая; 2) вторая; 3) третья.

63. В структурной формуле  $K = 3(4) \cdot 2(1) \cdot 2(2)$  переборной группой является:

**Ответ:** 1) первая; 2) вторая; 3) третья.

64. Отношение наибольшего передаточного числа к наименьшему в пределах одной группы должно быть меньше или равно:

**Ответ:** 1) 8; 2) 6; 3) 1,26.

65. Структурная формула  $K = 3(4) \cdot 2(1) \cdot 2(2)$  содержит такое количество скоростей:

**Ответ:** 1) 4; 2) 12; 3) 7.

66. Характеристикой группы называется :

**Ответ:** 1) количество передач в группе; 2) знаменатель ряда; 3) показатель степени знаменателя ряда.

67. Шкала чисел оборотов или подач на структурной сетке или графике чисел оборотов является:

**Ответ:** 1) логарифмической; 2) арифметической; 3) геометрической.

68. Наклонная или горизонтальная линия, соединяющая вертикали на структурной сетке или графике чисел оборотов, изображает:

**Ответ:** 1) группу; 2) передачу; 3) характеристику группы.

69. Привод главного движения работает на:

**Ответ:** 1) мультипликацию и редукцию; 2) мультипликацию; 3) редукцию.

70. Практически выгодно применять такой кинематический порядок, при котором минимальные передаточные числа в группах:

**Ответ:** 1) уменьшаются по мере приближения к шпинделю; 2) увеличиваются по мере приближения к шпинделю; 3) остаются постоянными по мере приближения к шпинделю.

71. Из графика чисел оборотов следует, что величина передаточного числа передач в группах зависит от:

**Ответ:** 1) их количества; 2) их характеристики; 3) знаменателя ряда, 4) частоты вращения валов группы.

72. Отношение наибольшего передаточного числа к наименьшему в общем виде запишется как:

**Ответ:** 1)  $u'_{\max} / u'_{\min} = \varphi^{(P-1) \cdot X_{\max}}$ ; 2)  $u'_{\max} / u'_{\min} = \varphi^{(P+1) \cdot X_{\max}}$ ; 3)  $u'_{\max} / u'_{\min} = \varphi^{(P-1) \cdot X_{\min}}$ .

73. Исходя из условия компактности передач, наименьшее число зубьев  $z_{\min}$  в приводах главного движения ограничивают в пределах:

**Ответ:** 1) 20...22; 2) 18...20; 3) 15...18.

74. В формулах для определения чисел зубьев зубчатых колес величина  $s_z$  это:

**Ответ:** 1) сумма чисел зубьев зубчатых колес в группе; 2) наименьший общий знаменатель; 3) сумма чисел зубьев сопряженных колес.

75. Сумма чисел зубьев сопряженных колес  $s_z$  равна:

**Ответ:** 1) отношению удвоенного межосевого расстояния к модулю передачи; 2) отношению модуля передачи к удвоенному межосевому расстоянию; 3) отношению межосевого расстояния к модулю передачи.

76. Наименьший общий знаменатель  $s_z$  определяется как:

**Ответ:** 1) произведение наименьшего общего кратного на межосевое расстояние; 2) произведение наименьшего общего кратного на целое число; 3) произведение наименьшего общего кратного на модуль передачи.

77. Число зубьев зубчатого колеса в передаче  $z_1$  определяется по формуле:

**Ответ:** 1)  $z_1 = \frac{s_z}{a+b} \cdot c$ ; 2)  $z_1 = \frac{s_z}{a+b} \cdot b$ ; 3)  $z_1 = \frac{s_z}{a+b} \cdot a$ .

78. Число зубьев зубчатого колеса в передаче  $z_2$  определяется по формуле:

**Ответ:** 1)  $z_2 = \frac{s_z}{a+b} \cdot c$ ; 2)  $z_2 = \frac{s_z}{a+b} \cdot b$ ; 3)  $z_2 = \frac{s_z}{a+b} \cdot a$ .

79. На кинематической схеме коробки скоростей по структурной формуле  $K_{n1} = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6)$  передаточное число в передаче  $z_{13} = 40 - z_{14} = 50$  равно:

**Ответ:** 1) 0,8; 2) 1,26; 3) 0,63.

80. На кинематической схеме коробки скоростей по структурной формуле  $K_{n1} = 3(1) \cdot 2(3) \cdot 2(6)$  передаточное число в передаче  $z_{13} = 36 - z_{14} = 90$  равно:

**Ответ:** 1) 2,5; 2) 0,4; 3) 0,63.

## ТЕМА №5. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ

81. Производящей линией называют:

**Ответ:** 1) только образующую линию; 2) только направляющую линию; 3) как направляющую линию, так и образующую.

82. Круговая цилиндрическая поверхность может быть представлена как:

**Ответ:** 1) след движения прямой линии по окружности; 2) след движения окружности по прямой; 3) след движения окружности по окружности.

83. Производящие линии на станках образуются:

**Ответ:** 1) линиями режущей кромки инструмента; 2) материальными точками; 3) за счет независимых относительных движений заготовки и инструмента.

84. Производящие линии на станках образуются:

**Ответ:** 1) в течение всего времени формирования образующей; 2) непрерывно в течение всего времени формирования поверхности; 3) периодически в течение всего времени формирования поверхности.

85. Согласованные относительные движения заготовки и режущего инструмента, которые непрерывно создают производящие линии, называют:

**Ответ:** 1) рабочими; 2) исполнительными; 3) движениями согласования.

86. Согласованные относительные движения заготовки и режущего инструмента, которые непрерывно создают производящие линии, называют:

**Ответ:** 1) формообразующими; 2) исполнительными; 3) движениями согласования.

87. К простым движениям формообразования относят:

**Ответ:** 1) вращательное; 2) прямолинейное; 3) возвратно-поступательное.

88. Сколько методов образования производящих линий используют при обработке поверхностей резанием в зависимости от вида режущего инструмента и формы его режущей кромки?

**Ответ:** 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4.

89. Метод образования производящих линий, состоящий в том, что форма производящей линии получается в виде копии формы режущей кромки инструмента или его профиля, называется методом:

**Ответ:** 1) копирования; 2) обката; 3) следа; 4) касания.

90. Метод образования производящих линий, состоящий 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, называется методом:

**Ответ:** 1) копирования; 2) обката; 3) следа; 4) касания.

91. Метод образования производящих линий, состоящий в том, что форма производящей линии получается в виде следа режущей точки кромки инструмента при относительном движении заготовки и инструмента, называется методом:

**Ответ:** 1) копирования; 2) обката; 3) следа; 4) касания.

92. Метод образования производящих линий, состоящий в том, что форма производящей линии возникает в виде огибающей мест касания множества режущих точек вращающегося инструмента в результате относительных движений оси вращения инструмента и заготовки, называется методом:

**Ответ:** 1) копирования; 2) обката; 3) следа; 4) касания.

93. Число движений формообразования для создания поверхности определяется суммой движений формообразования, необходимых для образования:

**Ответ:** 1) двух производящих линий; 2) одной из производящих линий; 3) трех производящих линий.

94. Общее число формообразующих движений при формировании поверхностей резанием практически не превышает:

**Ответ:** 1) двух; 2) трех; 3) четырех.

95. Металлорежущие станки бывают с данным количеством движений формообразования:

**Ответ:** 1) двух; 2) трех; 3) четырех.

96. Если в станке есть два движения формообразования, то из них движением скорости резания будет называться движение:

**Ответ:** 1) имеющее более сложную траекторию; 2) имеющее меньшую скорость; 3) имеющее большую скорость.

97. Движения заготовки и инструмента, необходимые для перемещения их в такое относительное положение, при котором становится возможным с помощью формообразующих движений получать поверхности требуемого размера, называют:

**Ответ:** 1) установочными; 2) делительными; 3) вспомогательными; 4) управления.

98. Движения, необходимые для обеспечения равномерного расположения на заготовке одинаковых образуемых поверхностей, называют:

**Ответ:** 1) установочными; 2) делительными; 3) вспомогательными; 4) управления.

99. Движения, обеспечивающие установку, зажим, освобождение, смазывание, удаление стружки, правку инструмента, называют:

**Ответ:** 1) установочными; 2) делительными; 3) вспомогательными; 4) управления.

100. Движения, которые совершают органы регулирования и координирования всех других исполнительных движений станка, называют:

**Ответ:** 1) установочными; 2) делительными; 3) вспомогательными; 4) управления.

## **ТЕМА №6. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОБОРУДОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

101. Характерными размерами токарных станков является:

**Ответ:** 1) максимальный диаметр обработки над станиной; 2) минимальная длина обработки; 3) минимальный диаметр обработки над станиной; 4) максимальная длина обработки.

102. Станки, предназначенные для токарной обработки тяжёлых деталей большого диаметра, но небольшой длины, называются:

**Ответ:** 1) лоботокарными; 2) токаро-винторезными; 3) токаро-карусельными.

103. Револьверные головки токаро-револьверных станков бывают:

**Ответ:** 1) конические; 2) цилиндрические; 3) призматические.

104. Главным движением резания токаро-карусельных станков является:

**Ответ:** 1) вращение планшайбы; 2) вращение шпинделя; 3) вращение резца.

105. Среди сверлильных станков наиболее распространенными является:

**Ответ:** 1) горизонтально-сверлильные; 2) вертикально-сверлильные; 3) радиально-сверлильные.

106. В горизонтально-расточных станках основным размером является:

**Ответ:** 1) диаметр планшайбы; 2) ширина стола; 3) диаметр шпинделя.

107. У продольно-фрезерных станков стол имеет:

**Ответ:** 1) только продольную подачу; 2) только поперечную подачу; 3) продольную и поперечную.

108. При обычном исполнении внутришлифовальных станков вращаются:

**Ответ:** 1) только шлифовальный круг; 2) как шлифовальный круг, так и заготовка; 3) только заготовка.

109. По расположению оси шпинделя плоскошлифовальные станки подразделяются на:

**Ответ:** 1) вертикальные; 2) широкоуниверсальными; 3) горизонтальные.

110. На использовании специфических явлений, возникающих под действием электрического тока, для удаления материала или изменения формы заготовки основаны методы:

**Ответ:** 1) только электрофизической обработки; 2) электрофизикохимической обработки; 3) только электрохимической обработки.

111. Электроэрозионные станки, оснащенные РС – генераторами, используются для:

**Ответ:** 1) электродуговой обработки; 2) электроимпульсной обработки; 3) электроискровой обработки.

112. Метод, основанный на использовании теплового воздействия луча высокой энергии, излучаемого оптическим квантом - генератором на поверхность заготовки, называется:

**Ответ:** 1) метод светолучевой обработки; 2) метод электронно-лучевой обработки; 3) метод фотонно-лучевой обработки.

113. При какой ЭХО растворение металла происходит при прохождении тока через электролит, прокачиваемый под давлением в зазоре между электродом – инструментом и заготовкой?

**Ответ:** 1) отделочной; 2) размерной; 3) синхронной.

114. Наибольший наружный диаметр обрабатываемых колес с наружным зацеплением на станке 514 равен в мм:

**Ответ:** 1) 700; 2) 800; 3) 500.

115. Наибольший диаметр нарезаемых колес на станке 5Д32 в мм равен:

**Ответ:** 1) 700; 2) 800; 3) 500.

116. Наибольший диаметр обрабатываемых колес на станке 5Д32 в мм равен:

**Ответ:** 1) 610; 2) 800; 3) 500.

117. Мощность электродвигателя зубострогательного станка модели 526 составляет:

**Ответ:** 1) 5,8 кВт; 2) 3,8 кВт; 3) 2,8 кВт.

118. Мощность электродвигателя зуборезного полуавтомата для конических колес модели 525 составляет:

**Ответ:** 1) 4,5 кВт; 2) 3,8 кВт; 3) 2,8 кВт.

119. Наибольший диаметр обрабатываемых колес на станке 5715 в мм равен:

**Ответ:** 1) 610; 2) 450; 3) 500.

120. Движение ползунов и столов в станке 7А705 осуществляется от:

**Ответ:** 1) гидропривода с лопастным насосом; 2) гидропривода с вихревым насосом; 3) гидропривода с поршневым насосом.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Металлорежущие станки: Учебник/ В.Д. Ефремов, и др.; под общ. ред. П.И. Ящерицына. 5-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. - 696 с.
2. Кучер А.М. Металлорежущие станки (Альбом общих видов кинематических схем и узлов). Ленинград: Машиностроение, 1972.
3. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов/ Под ред. В.Э. Пуша – М.: Машиностроение, 1985. - 256 с., ил.
4. Металлорежущие станки: Учебное пособие для машиностроительных вузов/ Под ред. Н.С. Ачеркана – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1957. - 1015 с., ил.

Гриценко Вячеслав Владимирович

## ОБРУДОВАНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Учебное пособие для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению  
«Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
всех форм обучения

Подписано в печать 11.04.19. Формат 84×108/16.  
Усл. печ. л. 6,93. Тираж 50 экз. Заказ 191684. Рег. № 2.

Отпечатано в ИТО Рубцовского индустриального института  
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/б.