

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА «ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ЛОГИСТИКА ИМ. И.Г.  
ШТОКМАНА»

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**  
по дисциплине «Механизированный инструмент»

для студентов всех форм обучения направления подготовки 23.04.02  
«Наземные транспортно-технологические комплексы» магистерская  
программа «Компьютерный инжиниринг транспортных логистических  
систем»

РАССМОТРЕНО  
на заседании кафедры  
«Транспортные системы и логистика»  
Протокол № 6 от 3 февраля 2020г.

Донецк  
2020

УДК 629.3

ББК 39.9

**Составитель:**

Кондрахин Виталий Петрович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Транспортные системы и логистика» ГОУВПО «ДОННТУ»

Конспект лекций по дисциплине «Механизированный инструмент» [Электронный ресурс]: для студентов всех форм обучения направления подготовки 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» магистерская программа «Компьютерный инжиниринг транспортных логистических систем» / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. трансп. систем и логистики им. И. Г. Штокмана; сост.: В.П. Кондрахин. - Донецк, ГОУВПО «ДОННТУ», 2020. – Систем. требования: Acrobat Reader .

Приведены необходимые сведения из программного материала курса. Рассмотрены область применения, конструкции основных типов ручных механизированных инструментов, методики расчета их параметров, правила безопасной эксплуатации

УДК 629.3

ББК 39.9

## СОДЕРЖАНИЕ

Лекция № 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РУЧНЫХ МАШИНАХ5	
Основные понятия и область применения .....	5
1.2 Требования к ручным машинам и система индексации .....	8
1.3 Классификация ручных машин .....	11
1.4 Контрольные вопросы .....	13
Лекция №2. ПРИВОД РУЧНЫХ МАШИН.....	14
2.1 Электромеханический привод .....	14
2.1.2 Устройство и принцип действия асинхронного трехфазного двигателя .....	15
2.1.3 Работа асинхронного двигателя под нагрузкой .....	17
2.1.4 Средства улучшения работы двигателя в пусковой период .....	20
2.1.5 Регулирование частоты вращения трехфазных асинхронных двигателей .....	22
2.1.7 Потери энергии и КПД асинхронных двигателей .....	29
2.1.8 Электрические машины постоянного тока .....	30
2.1.9 Универсальные коллекторные двигатели .....	36
2.1.10 Выбор мощности электродвигателей .....	36
1.2 Пневматический привод .....	42
1.3 Гидравлический привод .....	44
1.4 Двигатели внутреннего сгорания .....	47
1.5 Контрольные вопросы .....	48
Лекция №3. ПЕРЕДАТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И УСТРОЙСТВО РУЧНЫХ МАШИН49	
3.1 Основные параметры передаточных механизмов .....	49
3.2 Зубчатые передачи и их разновидности .....	50
3.3 Планетарные зубчатые передачи .....	51
3.4 Волновые зубчатые передачи .....	52
3.5 Гибкие валы .....	54
3.6 Контрольные вопросы .....	55
Лекция №4. ИНСТРУМЕНТ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РУЧНЫХ МАШИН.....	56
4.1 Разновидности режущего инструмента и область его применения .....	56
1.6 Вспомогательное оборудование ручных машин .....	62
1.7 Контрольные вопросы .....	65
Лекция №5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РУЧНЫЕ МАШИНЫ...66	
5.1 Общие сведения и классификация .....	66
1.8 Электрические сверлильные машины .....	69
1.9 Электрические шлифовальные машины .....	71
1.10 Электрические резьбозавертывающие машины .....	73
1.11 Электрические машины ударного и ударно-вращательного	

действия .....	79
5.6 Электрические ручные машины для обработки металла .....	85
5.7 Электрические ручные машины для обработки дерева .....	87
5.8 Контрольные вопросы .....	91
Лекция №6. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ РУЧНЫЕ МАШИНЫ..	93
6.1 Общие сведения и классификация пневматических ручных машин .....	93
2.2 Пневматические машины вращательного и вращательно-поступательного действия .....	95
6.3 Пневматические машины ударного и ударно-вращательного действия .....	97
6.4 Контрольные вопросы .....	103
Лекция №7. СПЕЦИАЛЬНЫЕ РУЧНЫЕ МАШИНЫ....	104
7.1 Ручные машины с пиротехническим приводом .....	104
а. Ручные машины с автономными индивидуальными двигателями	106
б. Контрольные вопросы.....	107
Лекция №8. ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ РУЧНЫХ МАШИН	108
8.1 Основные положения системы технического обслуживания и ремонта .....	108
8.2 Техническое обслуживание основных узлов ручных машин .	109
8.3 Техника безопасности при эксплуатации ручных машин .....	110
8.4 Контрольные вопросы .....	111
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	113

## **Лекция № 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РУЧНЫХ МАШИНАХ**

### **Основные понятия и область применения**

В строительном производстве более 50% общего объема работ не механизированы. Даже в таких высокомеханизированных технологических процессах, как земляные работы, стоимость немеханизированных работ (5%) составляет более 75% общей стоимости [1]. Средний уровень механизации отделочных работ в строительной отрасли составляет около 45%.

Повышение производительности труда, улучшение качества продукции и снижение физической нагрузки на рабочих при выполнении строительных, сборочно-монтажных и ремонтных работ является важнейшей составляющей современного производства, которое невозможно без использования ручного механизированного инструмента (ручных машин).

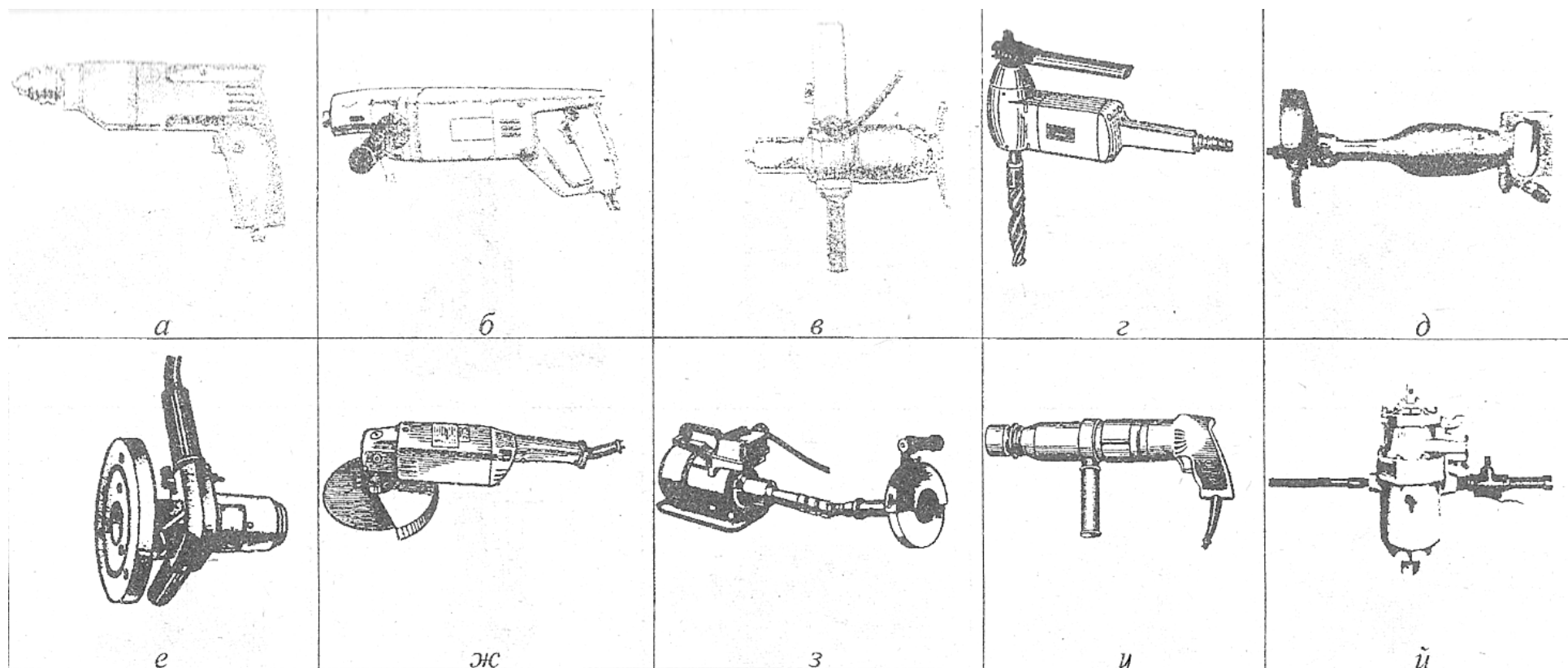
К ручным относятся такие технологические машины, в которых движение рабочего органа производится с помощью встроенного двигателя, а вспомогательные перемещение и управления самой машиной выполняются вручную. При этом масса машины полностью или частично воспринимается руками оператора. Основная номенклатура ручных машин представлена на рис. 1.1.

Ручные машины используются для:

- сверления и обработки отверстий (сверлильные машины вращательного и ударно-вращательного действия);
- выполнения сборочных работ (гайко-, шурупо-, винто-, шпильковерт);
- разрезания листового и сортового металлопроката (ножницы, фаскорезы, маятниковые пилы);
- разруба и разрушения материалов (молотки, перфораторы, бороздоделы);
- зачистки и шлифовки поверхностей (шлифовальные машины, шаберы, щетки);
- уплотнения бетонных смесей (трамбовки);
- разрезания и обработки дерева (цепные и дисковые пилы, лобзики, рубанки);
- забивания дюбелей в строительные конструкции (монтажные пистолеты, пиротехнические оправки) и других работ.

Благодаря портативности, высокой маневренности и простоте в эксплуатации ручные машины позволяют при выполнении монтажных работ в 4...10 раз повысить производительность труда по сравнению с работой вручную при сравнительно невысоких затратах на эксплуатацию [1,2]. Кроме того, повышается качество технологических процессов и улучшаются условия труда рабочих.

Ежегодный выпуск ручных машин составляет около трех миллионов, а в эксплуатации находятся десятки миллионов различных ручных машин.



**Рисунок 1.1, лист 1 – Основные разновидности механизированного инструмента**

*а – электродрель pistolного типа, б – электродрель с вспомогательной рукояткой; в – электродрель с вспомогательной рукояткой и упором; г – электродрель угловая; д – шлифовальная машина прямая; е, ж – шлифовальная машина угловая; з – шлифовальная машина с гибким валом; и – гайковерт электрический; й – гайковерт пневматический; к-шурповерт угловой; л – бетонолом с автономным двигателем; м – электромагнитный перфоратор; н – пневматический перфоратор; о – пневматический рубильный молоток; п – пневматический клепальный молоток; р – электрическая трамбовка; с – пила дисковая для дерева; т – пила дисковая для металла; у – пила цепная; ф – электрический рубанок; х – электродолбежник; ц – электрические ножницы; ч – пистолет строительно-монтажный; ш – пила дисковая*

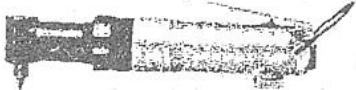
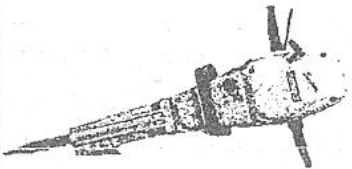
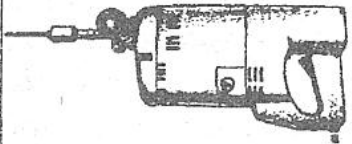
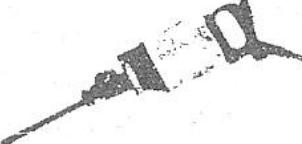

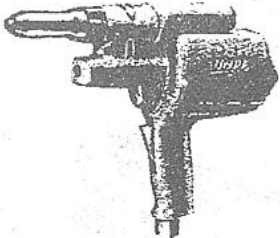
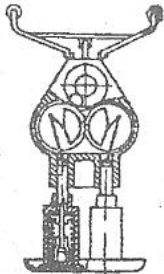
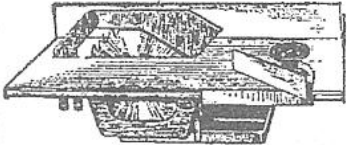

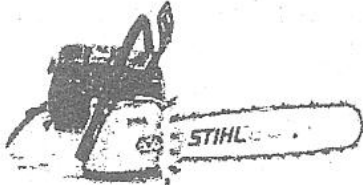
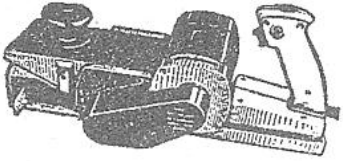
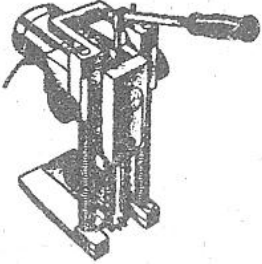
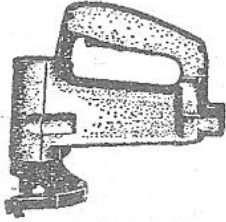
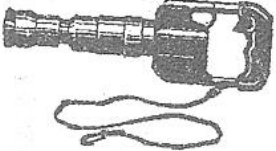
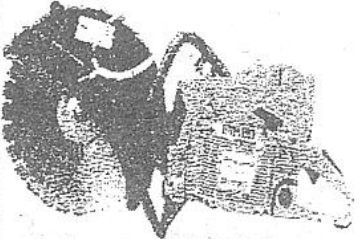
				
<i>к</i>	<i>л</i>	<i>м</i>	<i>н</i>	<i>о</i>
				
<i>п</i>	<i>р</i>	<i>с</i>	<i>т</i>	<i>у</i>
				
<i>ф</i>	<i>х</i>	<i>ц</i>	<i>ч</i>	<i>ш</i>

Рисунок 1.1, лист 2

## 1.2 Требования к ручным машинам и система индексации

Отличительной особенностью ручных машин является высокая удельная мощность, приходящаяся на единицу их массы. Как правило, она в несколько раз превышает удельную мощность стационарных машин аналогичного назначения. Довольно часто ручные машины используются в условиях ограниченного пространства и времени, при этом оператору приходится воспринимать нагрузку на руки, как от массы самой машины, так и нагрузку от взаимодействия рабочего инструмента со строительным материалом, который имеет динамичный характер. Поэтому наряду с общими требованиями, которые относятся к ручным машинам, они должны обеспечивать безопасность труда и регламентные нормы охраны труда.

Каждая ручная машина должна быть надежной и долговечной в эксплуатации; приспособлена к изменению условий работы (температуры, влажности, характера нагрузки); отличаться простотой в обслуживании и ремонте; экономичной в эксплуатации.

Ручная машина должна иметь небольшую собственную массу и высокий КПД, должна быть удобной в управлении, технологической при производстве и соответствовать современным требованиям технической эстетики, то есть иметь красивую внешнюю форму, хорошую отделку и стойкое покрытие, удобство в работе и минимальную утомляемость обслуживающего персонала.

Условия производства, эксплуатации и ремонта ручных машин требуют технологичности конструкции, применение максимального количества стандартных и нормированных деталей, а также унифицированных сборочных единиц (двигателей, редукторов, устройств управления, захвата рабочего инструмента и др.). Значительный экономический эффект дает использование ручных машин многоцелевого назначения, которые создаются на базе одной базовой конструкции для выполнения целого ряда операций на различных материалах.

Всем ручным машинам присваивается индекс, состоящий из буквенной и цифровой частей. По индексу определяют вид привода, группу машины по назначению и ее конструктивные особенности.

Все машины распределены на десять групп по назначению, каждая из которых делится на девять подгрупп в зависимости от конструктивных особенностей каждого типа ручных машин (табл.1.1) [1]. Незаполненные клетки таблицы предназначены для новых машин указанных групп.

Буквенная часть индекса характеризует вид привода: ИЭ – электрический; ИП – пневматический; ИГ – гидравлический; ИД – моторизованный с двигателем внутреннего сгорания. Для насадок, вспомогательного оборудования, инструментальных головок независимо от вида привода устанавливается индекс ИК.



Таблица 1.1 – Классификатор и цифровые индексы ручных машин

Подгруппа	Группы машин								
	сверлильные резьбозавертывающие	шлифовальные и полировальные	резьбозавертывающие и резьбонарезные	ударные, ударно- вращательные	фрезерные пилы, дисковые ножницы, рубанки	специальные, универсальные	агрегаты много- шпиндельные	насадки, головки	вспомогательное оборудование
0	10 Сверли- льные прямые	20 Прямые	30 Шуруповерты с авто- матической загрузкой	40 Молотки клепальные	50 Фрезерные	60 С комплектом насадок	70 Сверлильные	80 Сверлильные прямые, зенковочные	90 Подвески для ручных машин
1	11 Сверли- льные угловые	21 Угловые	31 Гайковерты ударного действия прямые	41 Молотки рубильные	51 Пилы дисковые	61 С гибким валом и универсальными головками	71 Гайко-и винтозавертывающие	81 Сверлильные угловые	91 Воздухо- дувки
2	12 Сверли- льные сверх- скоростные прямые и угловые	22 Торцевые	32 Гайковерты ударного действия угловые	42 Молотки отбойные	52 Ножовки, лобзики	62 Шпиндели универсальные	72 Резьбо- нарезные	82 Шлифовальные, полировальные, зачистные	92 Стояки, подставки

Продолжение табл. 1.1

3	13 Сверлильные реверсивные прямые и угловые	23 Ленточные	33 Шпилько-и муфтоверты	43 Молотки бурильные	53 Напильники, надфили, шаберы	63 Труборезы	73 -	83 Резьбонарезные	93 Приводы универсальные
4	14 Разверточные зенковочные	24 Плоские	34 Резьбонарезные прямые	44 Гвозде-и скобозабивной	54 Ножницы ножевые	64 Бороздоделы	74 -	84 Гайковерты, шуруповерты	94 Преобразователи
5	15 Сверлильные, ударно-вращательные	25 -	35 Резьбонарезные угловые	45 Трамбовки	55 Ножницы вырубные	65 Кромкорезы	75 -	85 Молотки	95 -
6	16 -	26 -	36 Гайковерты безударного действия прямые	46 Ломы, пробойники	56 Долбежники	66 -	76 -	86 Фрезерные, дисковые фуганки	96 -
7	17 -	27 -	37 Гайковерты безударного действия угловые	47 Перфораторы	57 Рубанки	67 -	77 -	87 Терпуги, надфили, шаберы	97 -
8	18 Станки сверлильные переносные	28 -	38 -	48 Развальцовочные	58 Резинорезы	68 -	78 -	88 -	98 -

Цифровая часть индекса включает четыре цифры, первая из которых определяет номер группы. Всего десять групп: 1 – сверлильные, 2 – шлифовальные, 3 – резбозавертывающие; 4 – ударные; 5 – фрезерные, 6 – специальные и универсальные, 7 – многшпиндельные; 8 – насадки и головки универсальные; 9 – вспомогательное оборудование; 10 – резервная.

Вторая цифра индекса определяет номер подгруппы, характеризует вид исполнения машины: 0 – прямая; 1 – угловая, 2 – многоскоростная; 3 – реверсивная.

Последние две цифры характеризуют регистрационный номер модели. Каждой вновь выпускаемой модели присваивается более высокий номер. Буквы после цифровой части индекса указывают порядковую модернизацию машины и вид ее специального исполнения.

В качестве примера расшифруем индекс электрической ручной машины ИЭ-1003В: ИЭ- вид привода (электрический), 1 – номер группы по квалификационной таблице 1.1 (машина сверлильная), 0 – номер подгруппы по виду исполнения (машина сверлильная прямая), 03 – порядковый регистрационный номер машины, В – порядковая модернизация машины (третья).

Единая система индикации ручных машин способствует упорядочению их выпуска и облегчает задачу обоснования выбора машин.

### **1.3 Классификация ручных машин**

Ручные машины классифицируют по следующим признакам (рис. 1.2):

- по назначению и отрасли использования – машины общего назначения, используемые для обработки различных материалов; машины для обработки металла, дерева, пластмасс, камня, бетона; машины для исполнения сборочных работ. Отдельную группу составляют универсальные машины с комплектом насадок, которые могут заменять несколько ручных машин;

- по виду привода – электрические, пневматические, гидравлические, моторизованные (с приводом внутреннего сгорания) и пиротехнические (пороховые);

- по способу преобразования энергии питания – механические, электромагнитные, компрессорно-вакуумные и пружинные;

- по характеру движения рабочего органа – вращательного движения (дисковые пилы, сверлильные и шлифовальные машины), с движением в замкнутом контуре (цепные пилы, долбежники), вращательно-поступательного движения (перфораторы), возвратно-поступательного движения (ножницы, лобзики), с колебательным движением (вибраторы, трамбовки);

- по конструкции – прямые и угловые, реверсивные и нереверсивные, односкоростные и многоскоростные;

- по принципу действия – непрерывно силовые, ударные и ударно-вращательного действия;

- по режиму работы – легкого, среднего, тяжелого и очень тяжелого режима. В легком режиме работают сверлильные машины, а в очень тяжелом – ручные машины ударного действия (молотки, ломы, перфораторы).

# КЛАССИФИКАЦИЯ РУЧНЫХ МАШИН



По классу защиты от поражения током различают электрические ручные машины:

- класса I – машины на номинальное напряжение более 42 В, которые имеют только рабочую изоляцию;
- класса II – машины на номинальное напряжение более 42 В, которые имеют двойную (усиленную) изоляцию;
- класса III – машины на номинальное напряжение до 42 В, питающихся от автономного источника или трансформатора с отдельными обмотками.

Современные электрические ручные машины имеют пластмассовый корпус. Благодаря чему такие машины защищают оператора от поражения электрическим током не только при повреждении рабочей изоляции, но и при прикосновении рабочего органа с токонесущими элементами конструкций.

Около 60% общего выпуска ручных машин оснащается электроприводом, на долю пневмопривода приходится около 30% [2].

#### **1.4 Контрольные вопросы**

- 8 Какие технологические машины относятся к механизированному инструменту?
- 2 Какие ручные машины используются при обработке дерева?
- 3 Какие ручные машины используются при обработке металла?
- 4 Для каких операций и какие ручные машины могут быть использованы при выполнении сборочных работ?
- 3 С какой целью используют молотки и перфораторы?
- 4 Какие основные требования предъявляются к ручным машинам?
- 5 По каким признакам индексируют ручные машины?
- 6 Какие типы приводов используются в ручных машинах?
- 7 Область применения прямых и угловых, реверсивных и неререверсивных, односкоростных и многоскоростных ручных машин?
- 8 Как классифицируют ручные машины по классу защиты от поражения электрическим током?

## Лекция №2. ПРИВОД РУЧНЫХ МАШИН

Привод предназначен для преобразования подводимой энергии в энергию движения инструмента.

Основными параметрами привода есть мощность, скорость, вид энергоносителя, надежность в работе, КПД, безопасность и влияние его работы на состояние окружающей среды.

По виду энергоносителя приводы подразделяют на электромеханические, пневматические, гидравлические, моторизованные, пороховые или их комбинации (например, гидропневматические).

По виду использования энергии, которая поступает и отводится от механической системы, различают активные и пассивные приводы. В активном приводе используют активные силы, которые создает двигатель, а в пассивном – наоборот.

### 2.1 Электромеханический привод

#### 2.1.1 Особенности использования и маркировка электродвигателей

Электрический привод имеет следующие *преимущества*:

- доступность энергоносителя, постоянная готовность к работе;
- легкость регулирования;
- простота монтажа, наладки, обслуживания при эксплуатации;
- высокие показатели надежности и КПД;
- низкий шум при работе.

К *недостаткам* электропривода относят:

- сравнительно высокие обороты электродвигателей вызывает необходимость использования сложных передаточных механизмов;
- инерционность системы двигатель - рабочий инструмент;
- меньшие скорости звеньев по сравнению с пневмоприводом;
- недостаточно высокие показатели удельной мощности;
- возможность поражения оператора электрическим током.

В качестве двигателей в электрических приводах используют электродвигатели постоянного тока с последовательным, параллельным и комбинированным возбуждением или двигатели переменного тока:

- коллекторные однофазные с нормальной частотой 50 Гц, напряжением 220 В;
- асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором с нормальной частотой 50 Гц и повышенной частотой 200 Гц, напряжением 220 и 36 В.

Для привода фуговальных ручных машин используют однофазные электромагнитные с возвратно-поступательным движением якоря.

Электрический ток к электродвигателю подается по кабелю, который соединяется с электрической сетью.

Для питания электродвигателей постоянного тока используют автономные аккумуляторы, а для асинхронных трехфазных двигателей с частотой более 50 Гц - преобразователи частоты.

В условных обозначениях различных типов электродвигателей буквы и цифры означают [2]:

- К - коллекторный однофазный;
- А - асинхронный трехфазный короткозамкнутый;
- И - двойная изоляция;

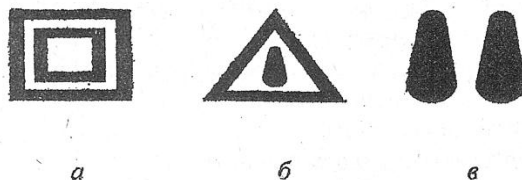
Н - нормальная частота тока 50 Гц;

П - повышенная частота тока 200 Гц.

Первая цифра после букв - условный диаметр активной стали статора, а вторая цифра - условная длина активной стали в каждой группе диаметров; буквы после цифр - напряжение сети: А - 36 В, В - 220 В.

В ручных машинах класса П в качестве привода используют высокоскоростные коллекторные однофазные двигатели с двойной изоляцией типа КНД. Они имеют мощность 120...1150 Вт, частота вращения якоря до 12 000 об/мин.

Кроме того, на этикетке электрических ручных машин указывают вспомогательные маркировочные знаки (рис. 2.1).



*а - с двойной изоляцией, б - брызгозащищенные; в - водонепроницаемые*

**Рисунок 2.1 - Маркировочные знаки электрических ручных машин**

Например: условное обозначение электродвигателя КНД - 23 В.

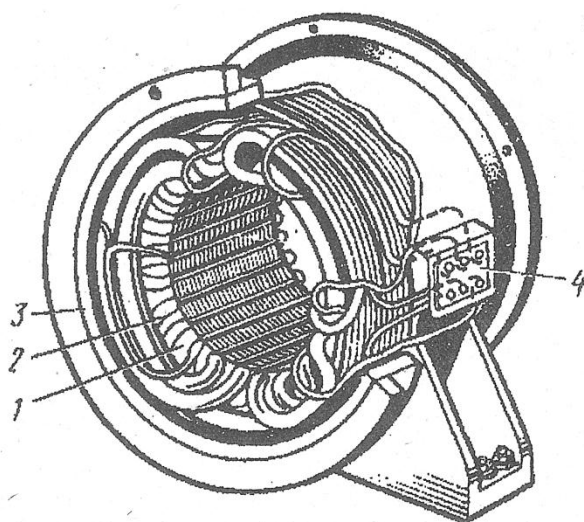
Это значит: двигатель переменного тока коллекторный однофазный, с нормальной частотой тока 50 Гц, напряжением 220 В, цифра 2 - условный диаметр активной стали статора, цифра 3 - условная длина активной стали в каждой группе диаметров.

Перспективным направлением является разработка конструкций ручных машин с использованием линейных и шаговых электродвигателей, но они имеют более сложную схему управления.

### **2.1.2 Устройство и принцип действия асинхронного трехфазного двигателя**

Асинхронный двигатель состоит из статора и ротора. Сердечник статора 1 набирают из стальных пластин специальной формы (рис. 2.2) толщиной 0,35...0,5 мм, изолированных между собой лаком (для уменьшения бесполезных затрат на вихревой ток). Отдельно собранные пакеты пластин прикрепляются к корпусу двигателя 3.

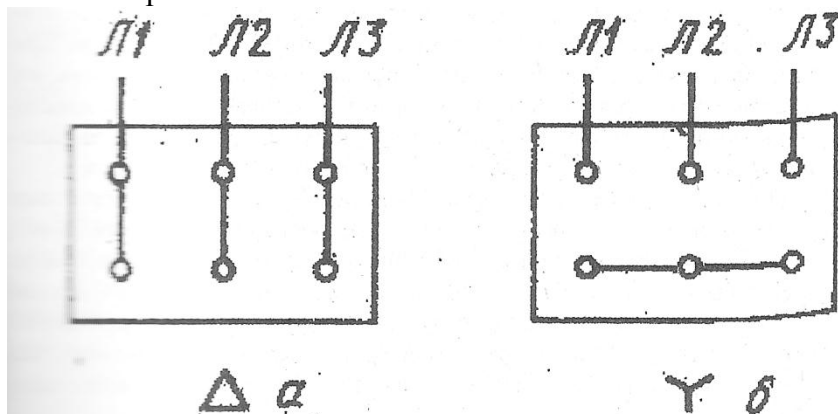
К станине прикрепляют боковые щиты с подшипниками, на которые опирается вал ротора. В продольные пазы статора укладывают обмотку 2. Ее концы соединяют соответствующим образом так, чтобы образовалась трехфазная система. В клеммной коробке 4 (рис. 2.3) имеется шесть зажимов, к которым присоединяют начало и конец обмоток каждой фазы.



1 – сердечник; 2 – обмотка; 3 – корпус статора; 4 – клеммная коробка

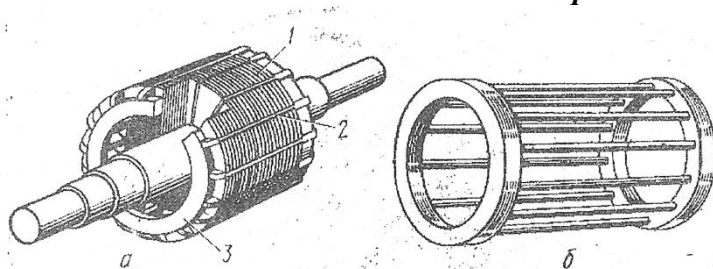
**Рисунок 2.2 – Структура статора асинхронного двигателя**

Для подключения обмоток статора к трехфазной сети они должны быть подключены звездой или треугольником (рис. 2.3), что дает возможность включать двигатель в сеть с двумя различными линейными напряжениями. Например, двигатель может работать от сети с напряжением 380 и 220 В.



а - треугольником, б – звездой

**Рисунок 2.3 - Соединение зажимов на щитке двигателя при включении обмоток статора**



а - строение, б - обмотка

**Рисунок 2.4 - Ротор короткозамкнутого двигателя**

Для более низких напряжений, указанных на щитке, обмотка статора соединяется треугольником, а более высоких - звездой.

Сердечник ротора (рис. 2.4, а) также набирают из стальных пластин специального профиля толщиной 0,5 мм, изолированных между собой лаком. Из пакетов составляют цилиндр с продольными пазами, в которые укладываются провод обмотки ротора 2. В



зависимости от типа обмотки асинхронные двигатели могут быть с фазным или короткозамкнутым ротором. Короткозамкнутая обмотка ротора выполняется по типу «беличьего колеса» (рис.2.4, б). В пазах ротора кладут массивные стержни, соединенные на торцевых сторонах медными кольцами 3. Часто замкнутую обмотку ротора выполняют из алюминия. Ее изготавливают литьем под давлением. Такая обмотка постоянно замкнута накоротко, и включение вспомогательного сопротивления в нее невозможно. Фазная обмотка ротора выполнена на подобие статорной, т.е. провода соответствующим образом соединяются между собой, чтобы образовать трехфазную систему. Обмотки трех фаз соединены звездой. Начала этих обмоток подключаются к трем контактными медными кольцам, закрепленным на валу ротора вместе с ротором. При вращении колец их поверхность скользит по угольным или медным щеткам, которые неподвижно закрепляются над кольцами. Обмотка ротора может быть замкнута на любое сопротивление (двигатели с фазным ротором) или накоротко при помощи выше указанных щеток (двигатели с короткозамкнутым ротором).

При соединении обмоток статора с трехфазной сетью создается вращательное магнитное поле, которое пересекает проводники обмотки ротора и в них индуцируется электродвижущая сила (ЭДС). Если обмотка ротора замкнута на любое сопротивление или накоротко, то по ней под действием индуцированной ЭДС проходит ток. В результате взаимодействия тока в обмотке ротора с вращающимся магнитным полем в обмотке статора создается вращающий момент, под действием которого ротор начинает вращаться в направлении вращения магнитного поля статора.

Для изменения направления вращения ротора (реверса двигателя) необходимо изменить направление вращения магнитного поля, которое создано обмоткой статора. Это достигается изменением чередования фаз обмоток статора. Для этого не обходимо изменить местами по отношению к зажимам сети любые 2 из трех проводов, соединяющих обмотку статора с сетью. Реверсивные двигатели оборудуют переключателями, с помощью которых возможно менять чередования фаз обмоток статора, а следовательно, и направление вращения ротора.

Двигатели с короткозамкнутым ротором проще, и более надежны в эксплуатации, значительно дешевле по сравнению с фазным ротором. Но двигатели с фазным ротором имеют лучшие пусковые и регулировочные характеристики. Одним из существенных недостатков асинхронных двигателей является относительно низкий коэффициент мощности ( $\cos\phi$ ). У асинхронного двигателя  $\cos\phi$  при полной нагрузке имеет значение 0,85...0,9, а при неполной нагрузке  $\cos\phi$  резко снижается и при холостом ходу падает до 0,2...0,3 [2]. Низкий коэффициент объясняется значительным поглощением реактивной мощности, которая необходима для возбуждения магнитного поля. Магнитный поток в асинхронном двигателе встречает на своем пути воздушную щель между статором и ротором, которая в значительной степени увеличивает магнитное сопротивление, а следовательно, и потребленную двигателем реактивную мощность. С целью повышения коэффициента мощности асинхронных двигателей воздушную щель стремятся делать как можно меньшей (для ручных машин до 0,2 мм).

### **2.1.3 Работа асинхронного двигателя под нагрузкой**

В рабочем режиме ротор двигателя вращается с частотой  $n_2$ , которая меньше частоты вращения магнитного поля статора  $n_1$ . Направления вращения магнитного поля статора и ротора совпадают. При этом магнитное поле, которое имеет большую частоту вращения, скользит относительно ротора с частотой

$$n_s = n_1 - n_2.$$

Относительное отставание ротора от вращающего магнитного поля статора характеризуется скольжением  $S$ .

Скольжение представляет собой отношение частоты вращения магнитного поля статора относительно ротора, который вращается, к частоте поля статора, т.е.

$$S = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}. \quad (2.1)$$

Численно величина  $S$  может принимать значения от 0 (ротор вращается синхронно с магнитным полем) до 1 (ротор не движется; например, при перегрузке двигателя).

Частоту вращения ротора (вала двигателя) можно вычислить по формуле

$$n_2 = n_1 - n_s = n_1 \cdot (1 - S) = \frac{60f}{p} \cdot (1 - S), \quad (2.2)$$

где  $f$  – частота переменного тока, для обычной сети  $f = 50$  Гц;

$p$  – количество пар полюсов электродвигателя,  $p = 1 \dots 6$ .

В современных асинхронных двигателях скольжения в рабочем режиме незначительное,  $S = 0,03 \dots 0,05$ .

Крутящий момент асинхронного двигателя возникает в результате взаимодействия вращательного магнитного поля статора с током в проводниках обмотки ротора. Его величина определяется по формуле [5]

$$M = c\Phi_m \cdot I_2 \cdot \cos\psi_2, \quad (2.3)$$

где  $c$  – конструктивная величина машины, которая зависит от числа ее полюсов и фаз, числа витков обмотки статора и конструктивного исполнения обмотки ротора;

$\Phi_m$  – магнитный поток статора;

$I_2$  – величина тока в обмотке ротора;

$\psi_2$  – фазный угол между ЭДС и током в обмотке якоря.

Таким образом, если  $c$  и  $\Phi_m$  – постоянные величины, то крутящий момент пропорционален только активной составляющей величины тока в обмотке ротора, т.е.

$$M = I_2 \cdot \cos\psi_2,$$

Изменение величины нагрузки на валу двигателя изменяет частоту вращения ротора и скольжения, что приводит к изменению как величины тока в роторе  $I_2$ , так и ее активной составляющей  $I_2 \cos\psi_2$ .

Величина тока в обмотке ротора определяется соотношением ЭДС до полного сопротивления, т.е.

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}; \quad (2.4)$$

$$\cos\psi_2 = \frac{R_2}{Z_2}, \quad (2.5)$$

где  $Z_2$ ;  $R_2$ ;  $X_2$  – полное, активное и реактивное сопротивление фазы обмотки ротора.

Вместе со скольжением изменяется частота тока ротора. При неподвижном роторе ( $n_2 = 0$  и  $S = 1$ ) вращательное поле с одинаковой частотой пересекает проводники обмотки статора и ротора (частота тока в роторе равняется частоте тока в сети  $f_2 = f_1$ ). При уменьшении скольжения обмотка ротора пересекается магнитным полем с меньшей

частотой, что приводит к уменьшению частоты тока в роторе. Когда ротор вращается синхронно сполем статора ( $n_2 = n_1$  и  $S = 0$ ), проводники обмотки ротора не пересекаются магнитным полем, а частота тока в роторе равна нулю ( $f_2 = 0$ ). Таким образом, частота тока в роторе пропорциональна скольжению, т.е.  $f_2 = Sf_1$ .

Активное сопротивление обмотки ротора почти не зависит от частоты, тогда как ЭДС и реактивное сопротивление пропорциональны частоте, то есть изменяются с изменением скольжения и могут быть обчислены следующими выражениями:

$$E_2 = SE; \quad (2.6)$$

$$X_2 = SX \quad (2.7)$$

где  $E$  и  $X$ -соответственно, ЭДС и индуктивное сопротивление фазы обмотки неподвижного ротора.

Таким образом, имеем:

$$I_2 = \frac{SE}{\sqrt{R_2^2 + (SX)^2}}; \quad (2.8)$$

$$\cos\psi_2 = R_2 / \sqrt{R_2^2 + (SX)^2} \quad (2.9)$$

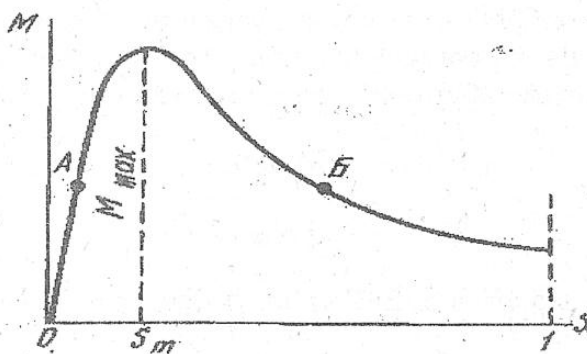
и вращающий момент

$$M \approx I_2 \cdot \cos\psi_2 = \frac{SER_2}{[R_2^2 + (SX)^2]}. \quad (2.10)$$

Т.е., при небольшом скольжении ( $S < 0,2$ ), когда  $SX$  небольшое в сравнении с  $R_2$ , увеличение скольжения вызывает увеличение вращательного момента, потому что при этом увеличивается активная составляющая тока в роторе ( $I_2 \cos\psi_2$ ).

При больших скольжениях ( $SX > R_2$ ) увеличение скольжения будет вызывать уменьшения вращательного момента в следствии значительного увеличения реактивного сопротивления обмотки ротора.

На рис. 2.5 показана зависимость вращательного момента от скольжения. При определенном скольжении  $S_T$  (ориентировочно 0,2) двигатель создает максимальный момент, который определяет перегрузочную способность двигателя и, как правило, в 2...3 раза превышает номинальный момент.



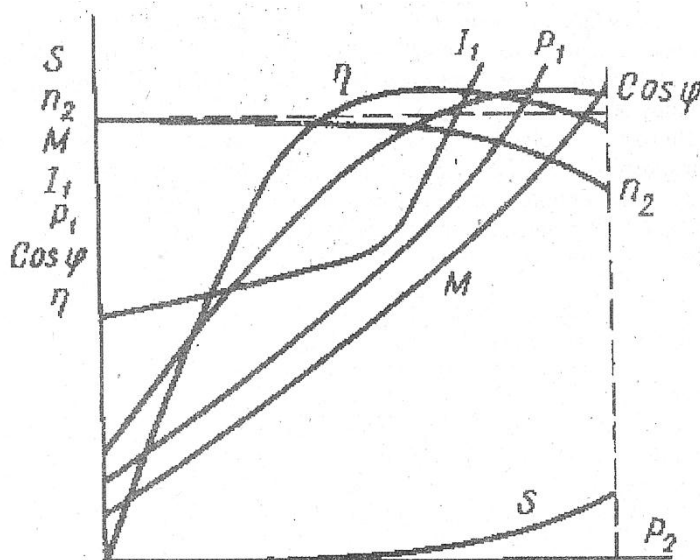
**Рисунок 2.5 – Зависимость момента асинхронного двигателя от скольжения**

Устойчивая работа двигателя возможна только на восходящей ветви кривой зависимости момента от скольжения, т.е. при изменении скольжения в пределах от 0 до  $S_T$ .

Работа двигателя на нисходящей ветви указанной зависимости (при  $S > S_T$ ) невозможна, так как здесь не обеспечивается устойчивое равновесие моментов.

Поскольку магнитный поток и величина тока в роторе пропорциональны напряжению сети, то крутящий момент двигателя пропорционален квадрату приложенного напряжения. Поэтому изменение напряжения в сети вызывает значительные изменения крутящего момента.

Рабочие характеристики асинхронного двигателя представлены на рис.2.6.



**Рисунок 2.6 - Рабочие характеристики асинхронного двигателя**

Скоростная характеристика ( $n_2$ ) является жесткой. Коэффициент мощности ( $\cos\psi$ ) меняется в зависимости от нагрузки на валу двигателя. Наибольшее значение КПД ( $\eta$ ) достигает при такой нагрузке, когда потери мощности в стали и механические потери, не зависящие от нагрузок, равны потерям мощности в обмотках статора и ротора, которые зависят от нагрузок.

#### **2.1.4 Средства улучшения работы двигателя в пусковой период**

При включении асинхронного двигателя в сеть переменного тока в обмотках его статора и ротора будет течь ток, который в несколько, раз больше номинального значения  $I_n$ . Это объясняется тем, что при неподвижном роторе вращательное магнитное поле пересекает его обмотку с большей частотой, равной частоте вращения магнитного поля в пространстве, и индуцирует в этой обмотке большую ЭДС. Эта ЭДС создает ток в звене ротора, что вызывает появление соответствующего тока в обмотке статора.

При возрастании частоты вращения ротора скольжения уменьшается, что приводит к уменьшения ЭДС и величины тока в обмотке статора.

Большой пусковой ток нежелателен, как для двигателя, так и для источника из которого двигатель получает энергию. При частых пусках большой пусковой ток приводит к резкому повышению температуры обмоток двигателя, что вызывает преждевременное старение его изоляции. Кроме того, при больших значениях тока снижается напряжение в сети, что влияет на работу других приемников энергии, включенных в ту же сеть.

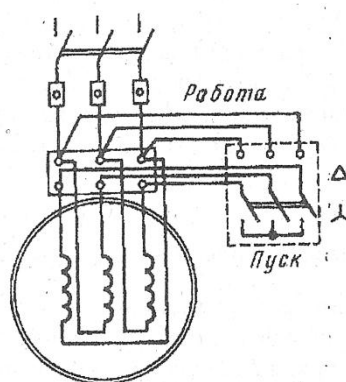
Двигатели с короткозамкнутым ротором малой мощности ( $P < 0,9$  кВт) запускаются в работу непосредственно включением в сеть. При большей мощности двигателя пусковой ток можно уменьшить, если снизить напряжение. Для этого в момент пуска двигатель

включается в сеть через понижающий трансформатор или реакторы. При достижении ротором нормальной частоты двигатель переключается на полное напряжение в сети.

Недостатком такого средства пуска двигателя в работу является резкое снижение пускового момента. Для уменьшения пускового тока в  $n$  раз необходимо напряжение которое подается на двигатель, уменьшить также в  $n$  раз. При этом пусковой момент, пропорциональный квадрату напряжения, уменьшится в  $n^2$  раз. Таким образом, снижение напряжения допустимо только при пуске двигателя без нагрузки или при малой нагрузке, когда пусковой момент может быть небольшим.

Часто выполняют пуск двигателей путем переключения обмотки статора с звезды на треугольник (рис. 2.7).

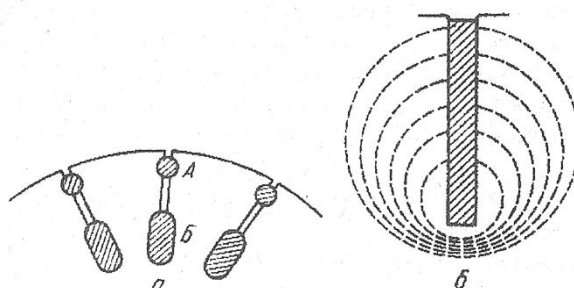
В момент пуска обмотку статора соединяют звездой, а после того, как двигатель разовьет частоту, близкую к нормальной, ее переключают на треугольник. При таком способе пуска двигателя величина пускового тока уменьшается в три раза в сравнении с пусковым током, потребляемым двигателем, если бы при пуске обмотка статора была бы соединена треугольником.



**Рисунок 2.7 - Схема пуска короткозамкнутого асинхронного двигателя с переключением обмотки статора с звезды на треугольник**

Но такой способ пуска двигателя возможен только для двигателей, обмотка статора которых при питании от сети данного напряжения должна быть соединена треугольником.

Значительное улучшение пусковых характеристик асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором возможно путем изменения конструкции ротора: используют роторы с двойной короткозамкнутой обмоткой и с глубокими пазами. Ротор с двойной короткозамкнутой обмоткой был впервые предложен изобретателем трехфазного асинхронного двигателя М. А. Добровольским в 1889 г. Он имеет две короткозамкнутые обмотки, которые выполнены по типу «белчьих клеток» (рис 2.8,а). Количество пазов верхней  $A$  и нижней  $B$  обмоток может быть одинаковая или разная. Внешняя обмотка  $A$  выполнена из стержней малого поперечного сечения, а внутренняя  $B$  - из стержней большого поперечного сечения. Поэтому активное сопротивление обмотки  $A$  оказывает большее сопротивление, чем активное сопротивление обмотки  $B$  ( $R_A > R_B$ ).



*а-с двойной короткозамкнутой обмоткой, б-с глубокими пазами*

### **Рисунок 2.8 - Схема строения ротора**

Вследствие того, что стержни внутренней обмотки  $B$  глубоко посажены в теле ротора и окружены сталью, индуктивное сопротивление, внутренней обмотки значительно больше сопротивления внешней ( $X_B > X_A$ ).

Принцип действия этого двигателя заключается в следующем. В момент включения двигателя в сеть ротор неподвижен, а частота тока в роторе равна частоте тока в сети  $f_2 = f_1$ . Ток в обмотках  $A$  и  $B$  распределяется обратно пропорционально их полному сопротивлению. Поскольку реактивное сопротивление асинхронных машин значительно больше их активных сопротивлений, то при запуске двигателя распределение тока между обмотками  $A$  и  $B$  примерно обратно пропорционально их индуктивным сопротивлениям. Поэтому при запуске двигателя ток в основном протекает через проводники внешней обмотки  $A$ , которая имеет меньший индуктивный и большее активное сопротивление, эту обмотку называют пусковой.

В рабочем режиме скольжения малое, и, как следствие, частота тока в роторе тоже мала ( $f_2 = 0$ ). Поэтому индуктивное сопротивление обмоток не важно, и ток в обмотках  $A$  и  $B$  обратно пропорционален их активным сопротивлениям. Таким образом, в рабочем режиме ток в основном проходит по проводникам внутренней обмотки  $B$ , которая имеет меньшее активное сопротивление. Эту обмотку называют рабочей. При такой конструкции ротора увеличивается активное сопротивление его обмотки в момент запуска двигателя, что уменьшает величину пускового тока и увеличивает пусковой момент аналогично включению пускового реостата в звено фазного ротора.

В двигателях с глубокими пазами короткозамкнутая обмотка ротора выполняется в виде тонких и высоких полос (рис.2.8, б). При такой конструкции обмотки происходит вытеснение тока в верхнюю часть проводника вследствие того, что нижние части проводников сцеплены с большим магнитным потоком рассеивания, чем верхние части.

Это явление оттока тока в верхние части проводников особенно сильно чувствуется в момент включения двигателя, когда частота тока в роторе равна частоте тока в сети, и, как следствие, при запуске двигателя повышается активное сопротивление обмотки ротора, что повышает пусковой момент. При увеличении частоты вращения ротора частота тока в его обмотке уменьшается, и ток более равномерно распределяется по сечению стержней, и при нормальной частоте вращения неравномерность распределения тока в поперечном сечении стержней почти полностью исчезает.

Пусковой момент двигателей такого типа  $M_{II} = (4...5)M_H$ , а пусковой ток  $I_{II} = (1...1,5)I_H$ . Это означает, что в двигателях с двойной короткозамкнутой обмоткой и глубокими пазами пусковые моменты больше, а величина пускового тока меньше, чем в обычных короткозамкнутых двигателях. Однако некоторые рабочие характеристики этих двигателей уступают обычным короткозамкнутым двигателям: несколько меньше  $\cos\phi$ , КПД и максимальный момент, поскольку большие потоки рассеяния, то есть больше индуктивное сопротивление обмоток ротора.

#### **2.1.5 Регулирование частоты вращения трехфазных асинхронных двигателей**

Из выражения (2.2) видно, что частоту вращения ротора можно регулировать изменением любого из трех параметров: частоты тока сети  $f$ , количества пар полюсов  $p$  и скольжения  $S$ , которое возможно изменять введением резистора в звено фазного ротора.

Скольжение возможно изменять регулировочным реостатом, введенным в звено обмотки ротора, а также изменением напряжения. При регулировании напряжения питающей сети изменяется крутящий момент двигателя, пропорциональный квадрату напряжения. При уменьшении вращательного момента начинает уменьшаться частота вращения ротора, т.е. увеличивается скольжение.

Регулировочный реостат включается в звено обмотки фазового ротора подобно пусковому реостату, но в отличие от пускового этот реостат рассчитывается на длительное прохождение тока. При включении регулировочного реостата ток в роторе уменьшается, что вызывает уменьшение крутящего момента двигателя и, как следствие, уменьшение частоты вращения вала и увеличение скольжения.

При увеличении скольжения повышаются ЭДС и ток в роторе. Частота вращения и скольжения будут меняться до восстановления равновесия моментов, т.е. пока величина тока в роторе не достигнет своего начального значения.

Этот способ дает возможность получить вращения вала двигателя в широком диапазоне, но он не экономичен, так как убытки в роторном звене пропорциональны скольжению, а убыточная энергия выделяется в виде тепла в роторном звене.

Существуют и другие средства, например, подача несимметричного напряжения на статор, использование схем с реакторами, которые регулируются в роторе [6].

Регулировка частоты вращения вала путем переключения численности полюсов дает возможность получить только ступенчатый диапазон вращения вала двигателя. Численность пар двигателей изменяют переключением каждой фазы обмотки двигателя с последовательного на параллельное соединение (рис. 2.9). На практике используют две схемы переключения: звезда - двойная звезда (рис. 2.9, а) и треугольник - двойная звезда (рис. 2.9, б).

Первую схему используют тогда, когда при постоянном вращательном моменте необходимо вдвое изменить частоту вращения. При соединении на звезду мощность двигателя

$$P_{1Y} = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} I_H \cos \varphi_{1Y} = \sqrt{3} U I_H \cos \varphi_{1Y}. \quad (2.11)$$

При соединении звездой

$$P_{1YY} = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} 2 I_H \cos \varphi_{1YY} = 2\sqrt{3} U I_H \cos \varphi_{1YY}. \quad (2.12)$$

Механические характеристики для первой схемы приведены на рис. 2.9, а. Сравнивая их и формулы (2.11) и (2.12), можно сделать такой вывод: при переключении статорной обмотки двигателя со звезды на двойную звезду мощность двигателя и частота вращения вала увеличиваются вдвое, а вращательный момент остается неизменным.

Вторую схему (треугольник - двойная звезда) используют тогда, когда необходимо изменить частоту вращения вала вдвое при мощности двигателя, что изменяется незначительно.

При соединении в треугольник

$$P_{1\Delta} = 3 U I_H \cos \varphi_{1\Delta}. \quad (2.13)$$

При переключении на двойную звезду

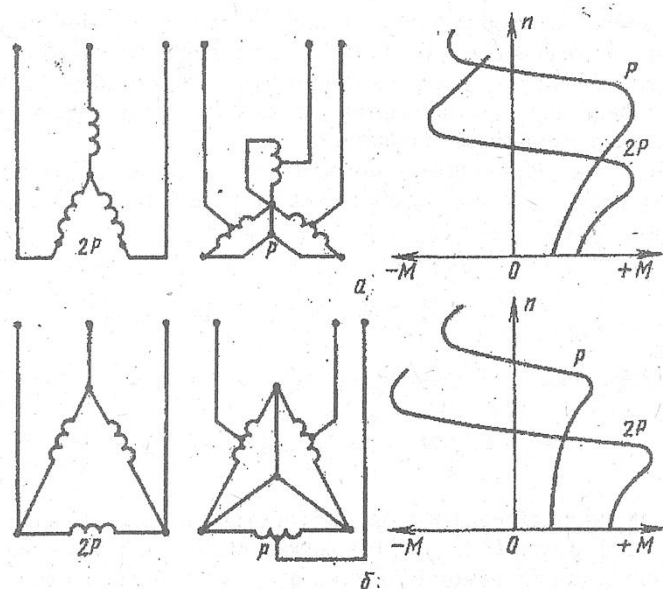
$$P_{1YY} = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} 2 I_H \cos \varphi_{1YY} = 3,46\sqrt{3} U I_H \cos \varphi_{1YY} \quad (2.14)$$

Механические характеристики для второй схемы приведены на рис. 2.9, б. Сравнивая формулы (2.13) и (2.14), можно сделать следующий вывод: при переключении статорной обмотки двигателя с треугольника на двойную звезду частота вращения вала увеличивается вдвое, мощность возрастает ориентировочно на 15%, а крутящий момент уменьшается.

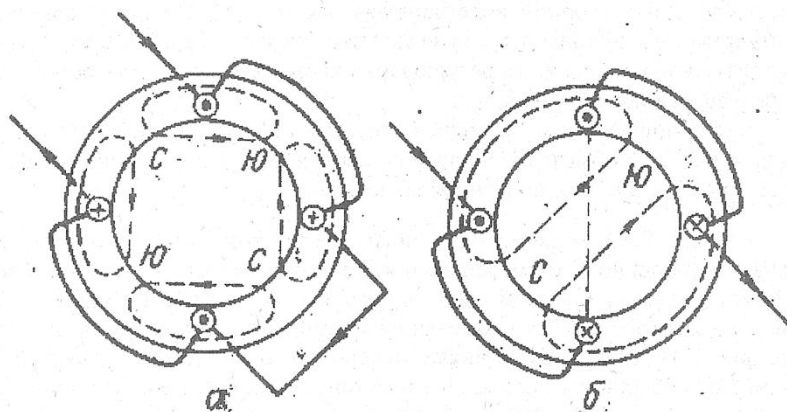
В последнее время используют электропривод переменного тока с комбинированной системой регулирования частоты вращения вала двигателя. Комплект включает двух или трехскоростной асинхронный короткозамкнутый двигатель и тиристорный преобразователь частоты [6]. Система управления преобразователем выполнена на интегральных схемах. Такой электропривод обеспечивает высокую плавность регулирования частоты вращения и бесконтактное реверсирование электродвигателя.

Число полюсов двигателя может быть изменено, если на статоре есть несколько (обычно две) обмоток с разным количеством полюсов или одна обмотка, которую можно переключать на различное количество полюсов.

На рис. 2.10, а схематически показаны две катушки одной фазы, которые соединены последовательно. Ток, протекающий по ним, создает магнитное поле с четырьмя полюсами. Если изменить направление тока в одной катушке, включивши ее навстречу другой, то обмотка будет создавать двухполюсное магнитное поле (рис. 2.10, б). При изменении числа полюсов обмотки статора изменится также частота вращения его магнитного поля, и, как следствие, частота вращения ротора двигателя. Этот способ регулирования частоты вращения асинхронного двигателя экономичный, но его недостатком является ступенчатое изменение частоты вращения вала. Кроме того, стоимость такого двигателя возрастает вследствие усложнения обмоток статора и увеличения габаритов двигателя.



**Рисунок 2.9 - Схемы переключения обмоток статора и механические характеристики двухскоростного асинхронного двигателя**





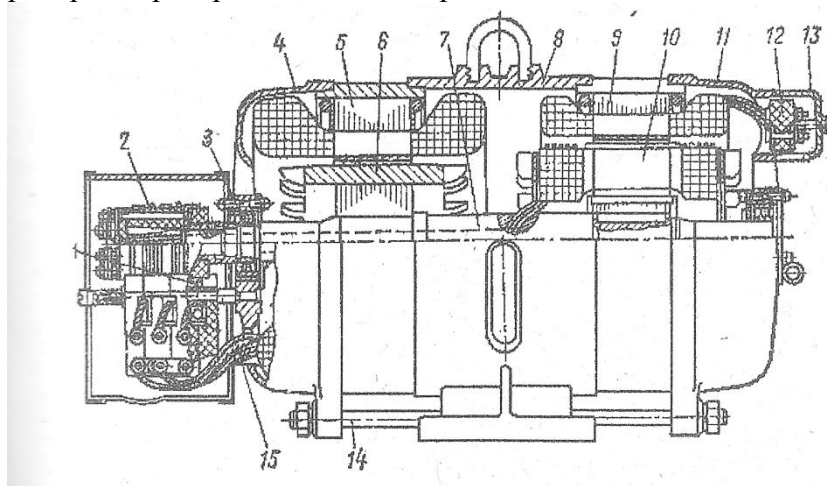
**Рисунок 2.10 - Схема переключения обмотки статора на четыре (а) и два полюса**

Электротехнические заводы изготавливают двигатели с синхронными частотами вращения: 500 - 750 - 1000 - 1500 об/мин. Такие двигатели имеют на статоре две обмотки, каждая из которых допускает переключение на разное количество полюсов.

Регулировка частоты вращения вала асинхронного двигателя путем изменения частоты питающего тока позволяет получить необходимые механические характеристики и высокие частоты вращения при незначительных убытках на преобразование энергии, но требует привлечения вспомогательного оборудования, а именно: трансформаторов, преобразователей частоты тока.

В качестве преобразователей частоты тока используются синхронные и асинхронные машины, которые объединены в единый блок.

Преобразователь частоты тока (рис. 2.11) состоит из двухполюсного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и шестиполюсного асинхронного генератора с фазовым ротором [7]. На станине 8 монтируются статор двигателя 5 и статор генератора 9, которые закрываются передними 4 и задними 11 щитками. В щитках располагают шарикоподшипники 3, которые служат опорой вала. На валу посажены ротор двигателя 6, ротор генератора 10 и коллектор 2.



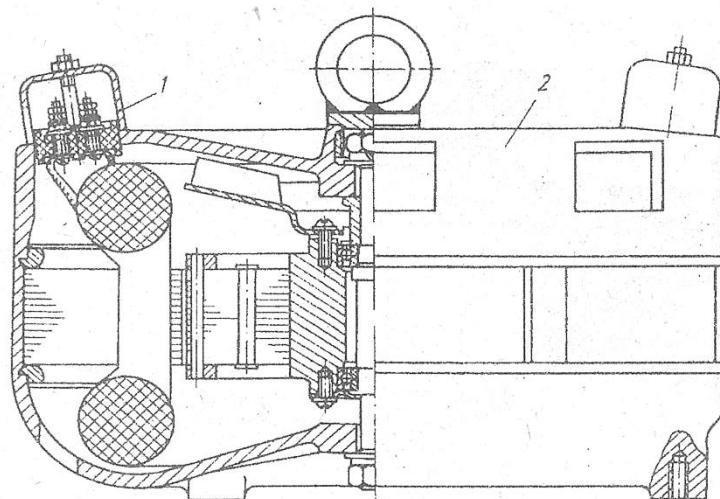
- 1 - щетки с щеткодержателями; 2 – коллектор; 3 - шарикоподшипник;  
4 - щит передний; 5 - статор двигателя; 6 - ротор двигателя;  
7 – вал; 8 - станина; 9 - статор генератора; 10 - ротор генератора;  
11- щит задний; 12 - клеммная панель; 13 - крышка клеммной панели;  
14 - стяжные шпильки; 15 - стержень щеткодержателя

**Рисунок 2.11 - Двухмашинный преобразователь частоты электрического тока**

Коллектор состоит из пластмассового корпуса и трех контактных колец. На переднем щите смонтирован щеткодержатель и сами щетки, которые плотно прилегают к контактным кольцам коллектора. Щеткодержатель имеет шесть колец, к которым подводятся выводные концы статора двигателя, концы трех пар щеток, питающих ротор генератора, и питающий кабель от сети. На заднем щите закреплена клеммная панель с подключенными концами обмотки статора генератора, с которого снимается электрический ток повышенной частоты. Переставляя перемычки на клеммах колодки и коллектора, преобразователь может включаться в электрическую сеть напряжением 380 и 220 В. Электрический ток нормальной частоты подводится к статору двигателя, и через щетки его ротор начинает вращаться. Вместе с ним вращается и ротор генератора, который сидит с ним на одном валу. Подведенное к ротору напряжение электрического

тока нормальной частоты создает в обмотке статора генератора электродвижущую силу частотой 200 Гц. Охлаждение преобразователя частоты тока воздушное.

В реактивных одномашинных преобразователях частоты тока ротора двигателя и генератора выполняются как одно целое (рис.2.12), благодаря чему их масса существенно уменьшается.



1 – коробка; 2 – корпус

**Рисунок 2.12 – Одномашинный преобразователь частоты электрического тока**

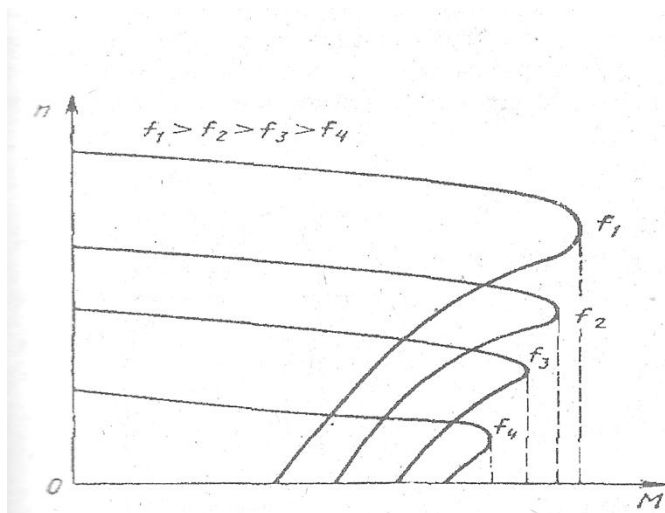
Для получения жестких характеристик и достаточной перегрузочной способности асинхронного двигателя при изменении частоты питающего тока необходимо поддерживать магнитный поток постоянно. Это требование может быть выполнено, если соотношение  $U/f$  при изменении частоты вращения будет поддерживаться постоянным. Это следует из формулы

$$E = c_E \Phi f.$$

Откуда магнитный поток

$$\Phi = \frac{1}{c_E} \frac{E}{f} \approx \frac{1}{c_E} \frac{U}{f} \quad (2.15)$$

На рис. 2.13 изображены механические характеристики двигателя при частотном регулировании. Как видно из характеристик, их жесткость при изменении силы тока изменяется незначительно, а критический момент заметно изменяется только в пределах низких частот.



**Рисунок 2.13 - Механические характеристики асинхронного двигателя при регулировании частоты вращения вала изменением частоты тока**

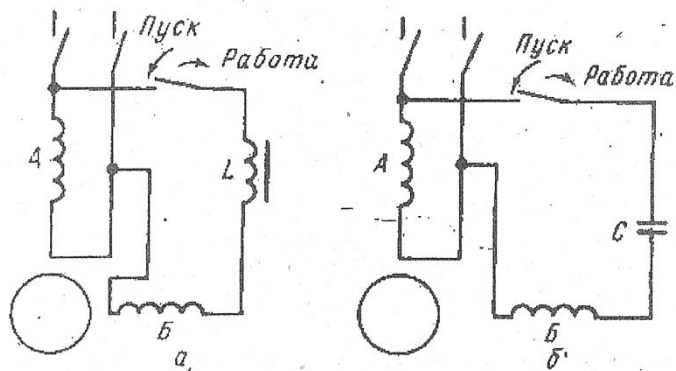
### **2.1.6 Однофазные асинхронные двигатели**

Однофазные асинхронные двигатели часто используют при небольших мощностях (до 1...2 кВт) [5]. Такой двигатель отличается от обычного трехфазного тем, что на его статоре размещается однофазная обмотка. Ротор однофазного асинхронного двигателя имеет фазную и короткозамкнутую обмотку. Особенностью однофазного асинхронного двигателя является отсутствие начального или пускового момента, то есть при включении такого двигателя в сеть его ротор будет оставаться неподвижным.

Если под действием какой-либо внешней силы вывести ротор из состояния покоя, то двигатель будет развивать крутящий момент. Отсутствие начального момента является существенным недостатком однофазных асинхронных двигателей. Поэтому они всегда оборудуются пусковым устройством.

Наиболее простым пусковым устройством являются две обмотки, размещенные на статоре и смещенные друг относительно друга на половину полюсного деления. Эти обмотки питаются от симметричной двухфазной сети, т.е. напряжения, которые приложены к обмоткам, равны между собой и сдвинуты на четверть периода по фазе. При таких напряжениях ток, проходящий по обмотке, также оказывается смещенным по фазе на четверть периода, что в дополнение к пространственному сдвигу обмоток позволяет получать вращательное магнитное поле. При наличии вращательного магнитного поля двигатель развивает пусковой момент.

В действительности двухфазная сеть обычно отсутствует, и запуск однофазного двигателя производится включением двух обмоток в одну общую для них однофазную сеть. Для получения угла сдвига фаз между током в обмотках, примерно равного  $\pm\pi/2$  (четверть периода), одну из обмоток (рабочую) включают в сеть напрямую или с пусковым активным сопротивлением, а вторую обмотку (пусковую) - последовательно с катушкой (рис.2.14, а) или с конденсатором (рис.2.14, б).



*а – индуктивности; б – емкости*

**Рисунок 2.14 – Схема пуска однофазного двигателя при включении в сеть пусковой обмотки**

Пусковая обмотка включается только на период запуска. В момент, когда ротор наберет соответствующую частоту вращения, пусковая обмотка отключится от сети отцентрованным выключателем или специальным реле, и двигатель работает как однофазный. В качестве однофазного двигателя может быть использован любой трехфазный асинхронный двигатель. При работе трехфазного двигателя в качестве однофазного рабочая или главная обмотка, которая состоит из двух последовательно соединенных фаз, включается непосредственно в однофазную сеть, третья фаза, которая является пусковой (вспомогательной) обмоткой, включается в ту же сеть через пусковой элемент - резистор, катушку или конденсатор.

Конденсаторные (двухфазные) двигатели представляют собой однофазный асинхронный двигатель с двумя обмотками на статоре и короткозамкнутым ротором. Вспомогательная обмотка рассчитана на длительное прохождение тока и остается включенной не только при запуске двигателя, но и при его работе. При работе конденсаторного двигателя возникает вращательное магнитное поле, которое улучшает его рабочие характеристики по сравнению с однофазным. При увеличении емкости конденсатора повышается и пусковой момент двигателя. Однако увеличение емкости батареи конденсаторов в рабочем режиме нежелательно, так как это приводит к снижению частоты вращения и КПД двигателя. Поэтому конденсаторные двигатели выполняют с двумя батареями конденсаторов - рабочей и пусковой.

Рабочая емкость батареи конденсаторов [8]

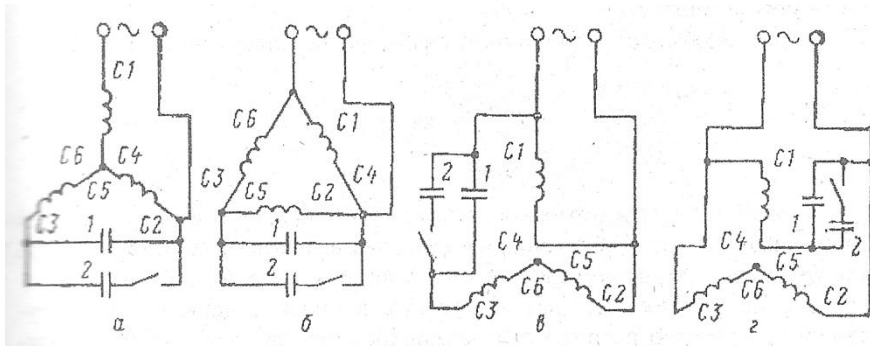
$$C_p = K_c \frac{I_{ном}}{U}, \quad (2.15)$$

где  $C_p$  - емкость конденсатора, мкФ;

$K_c$  - коэффициент, зависящий от электрической схемы подключения конденсаторного двигателя со статорными обмотками. Для схемы на рис. 2.15, а -  $K_c = 2800$ ; для схемы на рис. 2.15, б -  $K_c = 4800$ ; для схемы на рис. 2.15, в -  $K_c = 1600$ ; для схемы на рис. 2.15, г -  $K_c = 2740$ ;

$I_{ном}$  - номинальный ток, А;

$U$  - напряжение сети, В.



1 – рабочий конденсатор; 2 – конденсатор, что выключают  
**Рисунок 2.15 – Принципиальные электрические схемы конденсаторного двигателя с тремя статорными обмотками**

При определении пусковой емкости исходят, прежде всего из требований создания необходимого пускового момента. Если по условиям работы электропривода пуск двигателя производится без нагрузки, то пусковая емкость, как правило, принимается равной рабочей. В случае пуска двигателя под нагрузкой и исходя из условия получения пускового момента, близкого к номинальному (при трехфазном включении), необходимо иметь пусковую емкость, ориентировочное значение которой равно

$$C_{п} = (2 \dots 3)C_{р}. \quad (2.16)$$

Пусковые конденсаторы работают недолговременно (всего несколько секунд за весь период включения или доли секунды). Это позволяет использовать наиболее дешевые электролитические конденсаторы типа ЭП, специально предназначенные для этой цели, или бумажные конденсаторы типа КБГ-МН, БГТ.

### 2.1.7 Потери энергии и КПД асинхронных двигателей

В асинхронных двигателях при преобразовании одного вида энергии в другой часть энергии в виде теплоты рассеивается в различных конструктивных узлах. При этом происходят потери энергии в обмотках, в стали и механические. Кроме того, имеются незначительные дополнительные потери.

Потери мощности в статоре состоят из потерь мощности в его обмотке  $P_{об1} = m_1 R I^2$  и расходов в стали  $P_{с1}$  (расходы на вихревые токи и наперемагничивание сердечника статора). Значение  $m$  равно числу обмоток статора. Расходы в стали происходят и в сердечнике ротора, но они небольшие, и ими можно пренебречь.

Потери в обмотке ротора также определяются аналогично из выражения

$$P_{об2} = m_2 R_2 I_2^2.$$

Механические потери мощности  $P_{мех}$  равны сумме потерь на трение в подшипниках, на трение вращающихся частей о воздух (вентиляционные потери) и на трение щеток по кольцам (для двигателей с фазным ротором).

В асинхронных двигателях происходят также дополнительные потери, обусловленные зубчатостью ротора и статора, вихревыми токами и др. При полной нагрузке двигателя считается, что потери  $P_{доп}$  равны 0,5% его номинальной мощности [9].

КПД асинхронного двигателя определяется уравнением

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - (P_{об1} + P_{об2} + P_{с1} + P_{мех} + P_{доп})}{P_1}, \quad (2.17)$$

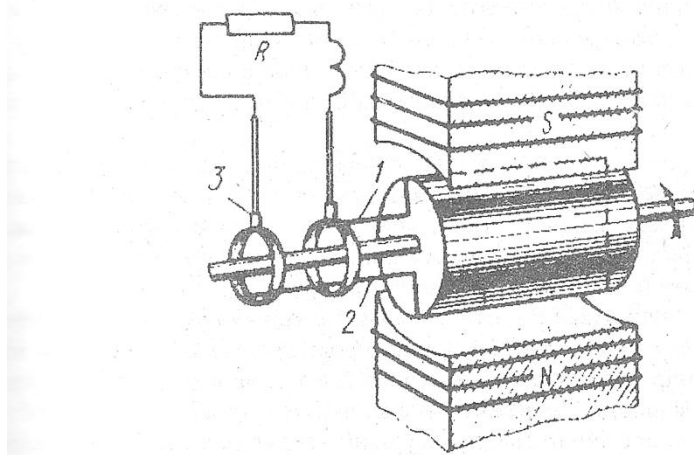
где  $P_1$ ,  $P_2$  - соответственно, полная и полезная мощность двигателя.

КПД в целом зависит от нагрузки. Для большинства современных асинхронных двигателей КПД составляет до 80...90% при их нагрузке 0,6...1 от номинального значения.

### 2.1.8 Электрические машины постоянного тока

Для питания двигателей ручных электрических машин электроэнергией в большинстве случаев используют стационарные электросети. На объектах, которые удалены от источников электроэнергии, питание двигателей ручных электрических машин осуществляется от передвижных электроагрегатов - генераторов постоянного тока.

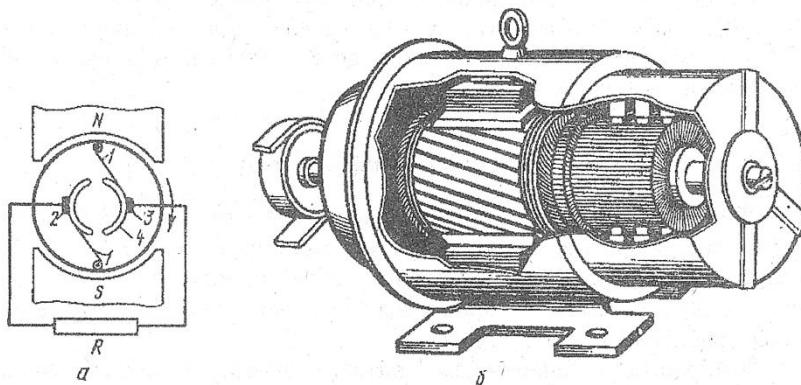
Простейшим генератором является виток, который вращается в магнитном поле полюсов N и S (рис. 2.16). В таком витке индуцируется переменная по времени ЭДС. Поэтому при соединении концов витка с контактными кольцами в сопротивлении R через неподвижные щетки 3 протекает переменный ток. Такая машина является генератором переменного тока [5].



1, 2-проводники, 3 – щетки

исунок 2.16 - Схема строения генератора переменного тока

Для преобразования переменного тока в постоянный используют коллектор, принцип действия которого следующий. Концы витка 1 (рис.2.17, а) присоединяются к двум медным сегментам 4, которые называются коллекторными пластинами. Пластины жестко закрепляются на валу машины, а затем изолируются как друг от друга, так и от вала двигателя. Над пластинами размещаются неподвижно щетки 2 и 3, которые электрически соединены с приемником энергии.



а - схема строения, б-общий вид

### Рисунок 2.17 - Схема строения генератора переменного тока

При вращении витка коллекторные пластины также вращаются вместе с валом машины, и каждая из неподвижных щеток 2 и 3 сталкивается то с одной, то с другой пластиной. Щетки располагаются так, чтобы они переходили с одной пластины на другую в тот момент, когда ЭДС, которая индуцируется в витке, равнялась нулю.

В таком, случае при вращении якоря в витке индуцируется переменная ЭДС, которая изменяется синусоидально при равномерном распределении магнитного поля, но каждая из щеток сталкивается только с той коллекторной пластиной и, соответственно, с тем из проводников, который в данный момент располагается под полюсом соответствующей полярности.

Следовательно, ЭДС на щетках 2 и 3 своего знака не меняет, и ток на внешнем участке замкнутой электрической сети проходит в одном направлении от щетки 2 через сопротивление  $R$  до щетки 3. Но, несмотря на неизменность направленности ЭДС во внешней сети, ее значение меняется во времени, т.е. полученная ЭДС не постоянна и имеет пульсирующий характер. Ток во внешней сети также будет пульсирующим.

Если разместить на якоре два витка под углом  $90^\circ$  друг к другу и концы этих витков соединить с четырьмя коллекторными пластинами, то пульсация ЭДС и тока во внешней сети значительно уменьшится. При увеличении количества коллекторных пластин пульсация заметно уменьшается, а ЭДС и ток практически постоянные.

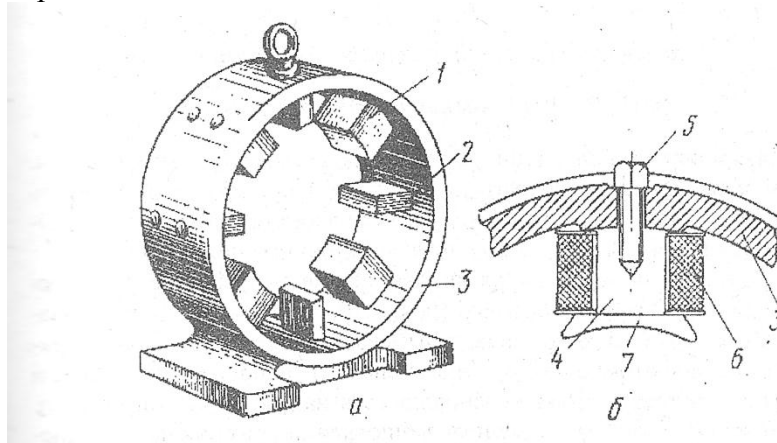
На рис. 2,17, б приведен общий вид машины постоянного тока. Неподвижная часть создает магнитное поле, а вращательная часть служит якорем.

Неподвижная часть машины (рис. 2.18) состоит из главных полюсов 1, вспомогательных полюсов 2 и станины 3. Главный полюс (рис. 2.18, б) представляет электромагнит, создающий магнитный поток. Он состоит из сердечника 4, обмотки возбуждения 6 и полюсного наконечника 7. Полюс закрепляется на станине 3 с помощью болтов 5.

Сердечник отливается из стали. Поперечное сечение сердечника имеет овальную форму, на сердечнике размещается катушка возбуждения 6, которая намотана из изолированного медного провода.

Катушки всех полюсов соединяются последовательно, образуя обмотку возбуждения. Ток, протекающий через обмотку возбуждения, создает магнитный поток. Полюсный наконечник удерживает обмотку возбуждения на полюсе и обеспечивает равномерное распределение магнитного поля под полюсом. Полюсному наконечнику придают такую форму, при которой воздушный зазор между полюсами и якорем будет одинаковой вдоль полюсной дуги. Вспомогательные полюса 2 имеют также сердечник и обмотку.

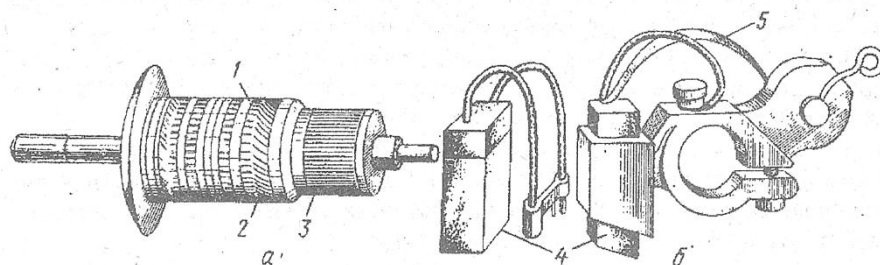
Вспомогательные полюса располагаются между главными полюсами, а их количество может быть равно количеству главных полюсов или быть вдвое меньшей. Они служат для устранения искрения под щетками. В машинах малой мощности они могут отсутствовать.



*а - общий вид статора; б - главный полюс* **Рисунок 2.18 - Устройство статора постоянного тока**

Станину отливают из стали. Она является ством всей машины. На станине закрепляют главные и вспомогательные полюса, а также боковые щиты с подшипниками, удерживающими вал машины. С помощью станины машина закрепляется на фундаменте или на раме передвижной установки.

Вращающаяся часть машины (якорь) состоит из сердечника 1 (рис. 2.19, а), обмотки 2 и коллектора 3. Сердечник якоря представляет собой цилиндр, который собран из листов электротехнической стали. Листы изолируются между собой лаком или бумагой для уменьшения расходов на вихревые токи. Стальные листы штампуют на станках по шаблону; они имеют пазы, в которых укладывают проводники обмотки якоря. В теле якоря предусматривают воздушные каналы для охлаждения обмотки и его сердечника. Обмотка тщательно изолируется от сердечника и закрепляется в пазах немагнитными клиньями. Лобовые соединения закрепляются стальными бандажами. Все секции обмотки, размещающиеся на якоре, соединяются между собой последовательно, образуя замкнутую сеть, и присоединяются к коллекторным пластинам.



*а - общий вид; б - щетка и щеткодержатель* **Рисунок 2.19 - Якорь машины постоянного тока**

Коллектор представляет собой цилиндр, состоящий из отдельных пластин. Коллекторные пластины изготавливают из твердотянутой меди, которые изолируют между собой и от корпуса прокладками. Для устранения биения и искрение щеток их внешняя поверхность должна быть гладкой и цилиндрической.

Для соединения обмотки якоря с внешней сетью на коллекторе размещаются неподвижные щеткодержатели (рис. 2.19, б). Щетка 4, которая передвигается по направляющим щеткодержателя, прижимается пружиной 5 до коллектора. Количество щеткодержателей равно количеству полюсов. Щеткодержатели закрепляются на траверсе, которая устанавливается на подшипниковом щите. Траверса может поворачиваться и именно этим изменять положение щеток относительно полюсов. Как правило, траверса устанавливается в таком положении, при котором размещение щеток в пространстве совпадает с расположением осей главных полюсов.

Якорные обмотки машин постоянного тока изготавливают из изолированного медного провода. На практике наиболее широкое распространение нашли двухслойные обмотки, в которых в пазах якоря активные части секций расположены в два слоя. Каждая секция обмотки состоит из двух активных сторон, находящихся друг от друга на расстоянии, близком к полюсной отметке (расстояние между осями соседних разноименных полюсов). При таком расстоянии между активными проводниками (шагом обмотки) ЭДС, которая индуцировалась в этих проводниках, будет направлена в одну сторону. При этом ЭДС секции будет иметь наибольшее значение, потому что ЭДС ее активных сторон будет складываться. Одна активная часть секции располагается в верхнем слое паза, а



вторая - в нижнем. Концы секции соединяются как с другими секциями обмотки, так и с коллекторными пластинами.

Секции, формируя обмотки, соединяются между собой так, чтобы индуцированная в них ЭДС была направлена в одну сторону. Для этого исходные (конечные) проводники последовательно соединенных секций должны располагаться в любой момент под полюсами одинаковой полярности.

В зависимости от порядка соединения секций обмотки могут быть параллельными (петлевыми) и последовательными (волновыми) [5].

При работе машины постоянного тока в режиме двигателя под действием приложенного напряжения ток проходит через обмотку якоря и обмотку возбуждения. Ток возбуждения создает магнитный поток полюсов. В результате взаимодействия тока в проводниках обмотки якоря с магнитным полем полюсов возникает крутящий момент, и якорь машины начинает вращаться [5]. Таким образом, электрическая энергия преобразуется в механическую энергию.

Источником электрической энергии могут быть специальные передвижные агрегаты, аккумуляторы и различные устройства для преобразования переменного тока в постоянный.

Условием установившегося режима двигателя является равенство вращающего и тормозного моментов. Если крутящий момент, развиваемый двигателем  $M_{кр}$ , уравнивается тормозным моментом на валу  $M_T$ , то частота вращения якоря остается постоянной. При нарушении равновесия моментов появляется вспомогательный момент, который создает положительное или отрицательное ускорение вращения якоря. Если увеличивать нагрузку (тормозной момент на валу двигателя  $M_T$ ), то равновесие моментов нарушится ( $M_{кр} < M_T$ ) и частота вращения якоря начнет уменьшаться. При этом уменьшается также противо-ЭДС, что вызывает увеличение тока в обмотке якоря и, как следствие, увеличение крутящего момента двигателя [5]:

$$M_e = kI\Phi.$$

Изменение частоты вращения противо-ЭДС и тока происходит до восстановления равновесия моментов, т.е. до тех пор, пока крутящий момент не будет снова равен тормозному моменту на валу двигателя.

Если равновесие моментов не восстанавливается, а тормозной момент остается постоянно больше крутящего момента ( $M_{кр} < M_T$ ), тогда частота вращения уменьшается непрерывно до остановки двигателя. Такие случаи могут возникать при больших тормозных моментах на валу и значительных понижениях напряжения в сети.

При уменьшении нагрузок на валу двигателя ( $M_{кр} > M_T$ ) частота вращения якоря начинает ускоряться, что вызывает увеличение противо-ЭДС в его обмотке. Ток в обмотке якоря уменьшается, и снижается крутящий момент двигателя. Изменение частоты, противо-ЭДС и тока в якоре будет продолжаться до восстановления равновесия моментов ( $M_{кр} = M_T$ ).

Однако в двигателях постоянного тока достаточно часто возникают условия, при которых равновесие моментов не восстанавливается при любом изменении частоты, так что крутящий момент всегда остается больше тормозного момента на валу двигателя ( $M_{кр} > M_T$ ). В таких случаях частота вращения якоря непрерывно увеличивается, теоретически приближаясь к бесконечности. Практически при значительном превышении номинальной частоты машина разваливается - рвутся бандажи, скрепляющие лобовые соединения обмотки, проводники обмотки выходят из пазов и т. п. Такой аварийный режим называется «разносом» двигателя.

В двигателях очень малых мощностей (некоторые ручные машины) сброс нагрузок не вызывает «разноса», потому что для них механические затраты будут достаточно большой нагрузкой.

Направление вращения якоря двигателя зависит от полярности полюсов и от направления тока в проводниках обмотки якоря. Таким образом, для реверса двигателя, т.е. для изменения направления вращения якоря, необходимо изменить полярность полюсов или изменить направление тока в обмотке якоря.

Обмотка возбуждения обладает значительной индуктивностью, и ее переключение нежелательно. Поэтому реверс двигателей постоянного тока, как правило, выполняется переключением обмотки якоря.

При вращении якоря двигателя коллекторные пластины поочередно сталкиваются с щетками таким образом, что в определенное время секция или несколько секций замыкаются щеткой. Из-за того, что переходное сопротивление между щеткой и коллекторной пластиной сравнительно мало, замыкание секций близко к их короткому замыканию. Когда щетка полностью переходит на коллекторную пластину и ток в этой секции изменяет направление на противоположное, в секции создается ЭДС самоиндукции, которая может достигать сравнительно высоких значений. Кроме того, поскольку этот процесс может проходить одновременно в нескольких секциях под всеми щетками, то в каждой секции возникают ЭДС самоиндукции. Эти ЭДС самоиндукции и взаимной индукции, препятствующие изменению полярности тока, вызывают неравномерное распределение плотности тока под щеткой, что является причиной возникновения искрения, которое особенно интенсивно в момент размыкания щеток секции обмотки.

Чрезмерная плотность тока при наличии разности потенциалов между щеткой и коллектором приводит к появлению дугового разряда, который ионизирует тончайшие слои воздуха, находящиеся между щеткой и коллектором, и способствует развитию дуги. Дуга может перейти к щетке другой полярности и вызвать круговой огонь на коллекторе, а это может привести к повреждению двигателя.

Искрение щеток может быть вызвано рядом других причин: неравенством поверхности коллектора, битьем щеток, загрязнением поверхности коллектора, наличием влаги на ней и др. Даже незначительное искрение щеток нежелательно, так как увеличивается износ щеток и коллектора, а также повышается нагрев последнего вследствие увеличения переходного сопротивления между щеткой и коллектором.

Наиболее эффективным способом улучшения работы узла «коллектор-щетка» является компенсация реактивных ЭДС. Для этого создают такое вспомогательное внешнее магнитное поле, при котором индуцированная в секциях ЭДС вращения будет равной и противоположной реактивной ЭДС. Для создания такого внешнего магнитного поля устанавливают вспомогательные выводы, которые размещаются между главными полюсами.

В двигателях постоянного тока есть возможность полностью и экономично регулировать частоту вращения в широком диапазоне. Благодаря этой ценной особенности они находят широкое применение и часто являются незаменимыми.

Частота вращения якоря двигателя при любой схеме возбуждения вычисляется по следующей формуле:

$$n = \frac{U - I(R_{я} - R_c)}{c\phi}, \quad (2.18)$$

где  $R_c$  - сопротивление последовательной обмотки возбуждения (для двигателя с параллельным возбуждением  $R_c = 0$ ), Ом.

Это выражение показывает, что частота вращения вала двигателя зависит от напряжения сети, сопротивления звена якоря и магнитного потока.

Частоту вращения регулируют путем изменения напряжения сети в том случае, когда источником электроэнергии двигателя является генератор.

Для регулирования частоты вращения вала двигателя изменением сопротивления звена якоря используют реостат, который включается последовательно с якорем. В отличие от пускового регулировочный реостат должен быть рассчитан на длительное прохождение тока. В сопротивлении этого реостата возникают большие потери энергии, вследствие чего резко уменьшается КПД двигателя.

Регулируют частоту вращения якоря двигателя также изменением магнитного потока, который зависит от тока в обмотке возбуждения. В двигателях параллельного и смешанного возбуждения включают регулировочный реостат, а в двигателях последовательного возбуждения для этой цели шунтируют обмотку возбуждения каким-либо регулирующим сопротивлением. Этот способ регулирования частоты практически не создает вспомогательных потерь и имеет экономические преимущества.

В двигателях постоянного тока при работе возникают затраты энергии, которые включают три составляющих [5].

Первой составляющей являются расходы в стали  $P_{ст}$  на гистерезис и вихревые токи, которые возникают в сердечнике якоря. При вращении якоря двигателя сталь его сердечника непрерывно перемагничивается. На ее перемагничивание тратится мощность, которую называют затратами на гистерезис. Одновременно при вращении якоря в магнитном поле его сердечника индуцируются вихревые токи. Расходы на гистерезис и вихревые токи, которые называются расходами в стали  $P_{ст}$ , превращаются в теплоту и нагревают сердечник якоря.

Расходы в стали зависят от магнитной индукции и частоты перемагничивания сердечника якоря. Магнитная индукция определяет ЭДС двигателя (напряжение), а частота перемагничивания зависит от частоты вращения якоря. Поэтому при работе двигателя постоянного тока расходы в стали будут постоянными, не зависящими от нагрузки, если напряжение на зажимах якоря и частота его вращения постоянны.

Ко второй составляющей относятся убытки энергии на нагревание провода обмоток возбуждения и якоря током, который проходит по ним. Эти расходы называют расходами в меди ( $P_{об}$ ).

Расходы в обмотке якоря и в щеточных контактах зависят от тока в якоре, т.е. они являются переменной составляющей и изменяются при изменении нагрузки.

Третья составляющая - механические затраты  $P_{мех}$ , которые представляют собой затраты энергии на трение в подшипниках, трение частей двигателя которые вращаются, с воздухом и трения щеток по поверхности коллектора. Эти расходы зависят от частоты вращения якоря двигателя.

КПД двигателя в процентах:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%,$$

где  $P_1$ - мощность, потребляемая машиной, кВт;

$P_2$  - полезная мощность двигателя, кВт.

При работе машины в режиме двигателя

$$P_2 = UI - P_{ст} - P_{об} - P_{мех}.$$

Тогда КПД двигателя постоянного движения:

$$\eta = \frac{UI - P_{ст} - P_{об} - P_{мех}}{UI} \cdot 100\%. \quad (2.19)$$

### **2.1.9 Универсальные коллекторные двигатели**

Любой двигатель постоянного тока может работать от сети переменного тока, так как крутящий момент, развиваемый двигателем, зависит от значения тока в якоре и магнитного потока полюсов. Такой двигатель не меняет направления вращения при одновременном изменении направления тока в якоре и магнитного потока полюсов.

Для создания достаточно большого крутящего момента необходимо одновременное изменение направления тока в якоре и магнитного потока полюсов. В двигателе параллельного возбуждения такого совпадения по фазе получить невозможно, поскольку магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения, отстает по фазе от приложенного напряжения примерно на четверть периода [5]. В двигателе последовательного возбуждения ток в якоре является одновременно и током возбуждения. Пренебрегая углом сдвига фаз между током возбуждения и магнитным потоком, можно предположить, что ток в якоре и магнитный поток совпадают по фазе, то есть их изменение выполняется одновременно.

При малых мощностях коллекторные двигатели выполняют универсальными, т.е. предназначенными для работы от сети как переменного, так и постоянного тока. Такие двигатели обычно выполняются без компенсационной обмотки, при работе от сети постоянного тока двигатель включается зажимами «0» и «=» (рис.2.20), а при работе от сети переменного тока зажимами «0» и «~». Таким образом, при работе на переменном токе число витков обмотки возбуждения значительно меньше, чем при работе на постоянном токе, следовательно, коэффициент мощности оказывается достаточно высоким, несмотря на отсутствие компенсационной обмотки.

Характеристики универсального коллекторного двигателя при работе от сети переменного тока аналогичны характеристикам двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением. Частота вращения противоположно пропорциональна току в якоре и резко меняется при увеличении нагрузки, т.е. двигатель имеет мягкую скоростную характеристику.

Однофазные коллекторные двигатели переменного тока малой мощности используются в устройствах автоматики и ручных машинах. В конструктивном отношении они имеют существенные отличия от машин постоянного тока. Магнитопровод статора набирается из листовой стали для уменьшения затрат на вихревые токи. Поток реакции якоря создает ЭДС самоиндукции, которая в значительной степени снижает коэффициент мощности.

Для устранения влияния реакции якоря в статоре коллекторного двигателя размещается компенсационная обмотка, магнитный поток которой направляется навстречу потоку реакции якоря.

Компенсационная обмотка может быть соединена последовательно с якорем, может иметь с якорем трансформаторную связь, кроме этого, может быть одна обмотка на статоре, которая является одновременно и обмоткой возбуждения и компенсационной.

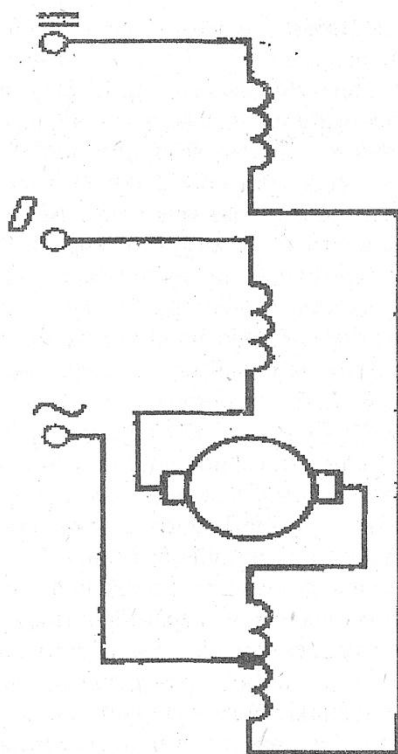
Иногда используют двигатели с трансформаторной связью статора и ротора, которые называют индукционными или репульсионными коллекторными двигателями. Такие двигатели используют главным образом на бытовом уровне для непосредственного включения в сеть переменного тока. В таких двигателях обмотка, включаемая в сеть, одновременно служит обмоткой возбуждения и компенсационной, а обмотка якоря короткозамкнутая с помощью щеток на коллекторе.

### **2.1.10 Выбор мощности электродвигателей**

Выбор мощности электродвигателя является одним из важнейших этапов, как на стадии проектирования электропривода, так и при выполнении предварительных расчетов, связанных с необходимостью использования действующей ручной машины в

других технологических процессах. Например, если обычную сверлильную ручную машину необходимо использовать в качестве шлифовальной.

Выбор двигателя завышенной мощности может привести к повышенному расходу электроэнергии вследствие снижения КПД и коэффициента мощности (для асинхронных двигателей), увеличению мощности трансформаторов и к росту капитальных затрат. Выбор электродвигателя заниженной мощности недопустим, поскольку это может вызвать преждевременный выход его из строя. Мощность электродвигателя должна выбираться к ожидаемой нагрузке и режиму работы. Как правило, предварительные расчеты мощности электродвигателя выполняются с учетом нагрузки на рабочий инструмент, скорости его перемещения (вращения) и КПД передаточных устройств.



**Рисунок 2.20 - Схема универсального коллекторного двигателя**

Трудности решения этой задачи заключаются в разнообразии условий работы и требований к рабочим машинам.

Поскольку при преобразовании электрической энергии в механическую происходят затраты части энергии, которая рассеивается в виде теплоты, то этот процесс вызывает повышение температуры отдельных частей двигателя (обмотки, корпуса и пр.). Важнейшей и вместе с тем наименее устойчивой к нагреву является изоляция обмоток двигателя. При этом максимальная температура изоляции не должна превышать допустимого значения. Кроме того, работа ручных электрических машин связана с изменением напряжения в электросети и возможным перегрузкам рабочего инструмента в связи с недостаточной квалификацией оператора. Поэтому максимальный момент, который развивает двигатель, должен быть таким, чтобы он мог преодолеть пиковые нагрузки, не вызывая выхода из строя отдельных деталей и узлов передаточного механизма.

Таким образом, мощность двигателя следует выбирать по условиям допустимого нагрева с последующей проверкой на перегрузочную способность.

Нагрев электрических машин в процессе работы во многом определяет их перегрузочную способность, поскольку повышение температуры является главной

причиной, ограничивающей мощность машины при длительных, кратковременных и повторяющихся кратковременных нагрузках. С увеличением нагрузки возрастают потери энергии в машине, повышается выделение теплоты, из-за чрезмерной нагрузки температура отдельных частей машины может превышать допустимую норму.

Во время работы электродвигателю за единицу времени передается определенное количество теплоты  $Q$ , обусловленное затратами, которые определяются по формуле [9]

$$Q = P_2 \frac{1-\eta}{\eta}, \quad (2.20)$$

где  $Q$  - количество теплоты, передаваемой двигателю, Дж/с;

$P_2$  - полезная мощность на валу машины, Вт;

$\eta$  - КПД машины при заданной нагрузке.

Часть этой теплоты рассеивается в окружающей среде, а оставшаяся часть, идет на увеличение температуры электродвигателя. При определенной температуре двигателя наступает равновесие, когда количество теплоты, передаваемой электродвигателю, равно количеству отдаваемой теплоты.

Выведем уравнение нагрева и охлаждения электродвигателя. Уравнение теплового баланса при условии, что температура всех элементов электродвигателя будет одинаковой, выражается дифференциальным уравнением [6,9]

$$Qdt = A\tau dt + Cdt, \quad (2.21)$$

где  $Q$  - количество теплоты, передаваемой телу двигателя за единицу времени (1 с);

$A$  - удельная теплоотдача, то есть количество теплоты, рассеиваемое поверхностью тела за 1с при разности температур тела и среды в  $1^\circ\text{C}$ ;

$\tau$  - превышение температуры тела над температурой окружающей среды;

$C$  - теплоемкость двигателя, т. е. количество теплоты, необходимое для повышения температуры тела двигателя на  $1^\circ\text{C}$ .

Разделив переменные, получим

$$(Q - A\tau)dt = cd\tau.$$

Откуда

$$dt = \frac{cd\tau}{Q - A\tau}.$$

Если  $Q - A\tau = x$ , то  $dx = -Ad\tau$  и  $d\tau = -(1/A)dx$ ; тогда  $dt = -\frac{c}{A} \cdot \frac{dx}{x}$  или

$$t = \int -\frac{c}{A} \cdot \frac{dx}{x}. \quad (2.22)$$

После интегрирования выражения (2.22) получим

$$t = -\frac{c}{A} \ln(Q - A\tau) + K, \quad (2.23)$$

где  $K$  - постоянная интегрирования, которую находят из начальных условий, т.е. при  $t = 0$  и  $\tau = \tau_0$ .

Из начальных условий

$$-\frac{c}{A} \ln(Q - A\tau_0) + K = 0,$$

тогда

$$K = \frac{C}{A} \ln(Q - A\tau_0). \quad (2.24)$$

Подставив выражение (2.24) в выражение (2.23), получим

$$t = -\frac{C}{A} \ln(Q - A\tau) + \frac{C}{A} \ln(Q - A\tau_0) = \frac{C}{A} (\ln(Q - A\tau_0) - \ln(Q - A\tau))$$

или

$$t = \frac{C}{A} \ln \frac{Q - A\tau_0}{Q - A\tau},$$

откуда

$$\ln \frac{Q - A\tau_0}{Q - A\tau} = \frac{A}{C} t. \quad (2.25)$$

Потенцируя выражение (2.25), получим

$$l^{\frac{At}{C}} = \frac{Q - A\tau_0}{Q - A\tau}, \quad (2.26)$$

где  $C/A = T$  - постоянная времени нагрева, с;

Перепишем уравнение (2.26) относительно  $\tau$ :

$$l^{\frac{t}{T}} Q - A\tau l^{\frac{t}{T}} = Q - A\tau_0,$$
$$\tau = \frac{Q}{A} \left(1 - l^{\frac{t}{T}}\right) + \tau_0 l^{\frac{t}{T}}. \quad (2.27)$$

Зависимость (2.27) имеет экспоненциальный характер (рис. 2.21) и показывает, что на начало процесса (при  $t = 0$ ) начальное превышение температуры тела двигателя составило  $\tau = \tau_n$ ; по окончании определенного интервала времени (при  $t = \infty$ ) превышение температуры достигает некоторого установленного значения

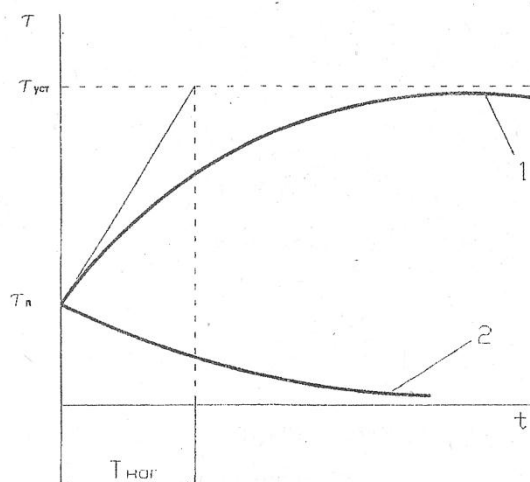
$$\tau_{уст} = \frac{Q}{A}. \quad (2.28)$$

Тогда уравнение (2.27) принимает вид

$$\tau = \tau_{уст} \left(1 - l^{\frac{t}{T}}\right) + \tau_n l^{\frac{t}{T}}. \quad (2.29)$$

Выражение (2.29) представляет собой уравнение нагрева электродвигателя и показывает, что температура нагрева его тела определяется количеством выделяющейся теплоты, и теплоотдачей тела и совершенно не зависит от его теплоемкости. Отсюда

следует, что при постоянной теплоотдаче температура нагревания будет пропорциональна количеству теплоты, которое передается телу. Если улучшить отвод тепла, т.е. поставить вентилятор, тогда возможно пропорционально уменьшить перегрев.



**Рисунок 2.21 - График зависимости температуры нагрева (1) и охлаждения (2) электродвигателя**

Правильно рассчитанный электродвигатель ручной машины при номинальной нагрузке должен иметь максимально допустимую температуру перегрева изоляции

$$\tau_{уст.н} = \frac{Q_n}{A}. \quad (2.30)$$

Подставив в уравнение (2.20) значения расходов в номинальном режиме, получим

$$P_n = \frac{\eta_n}{1-\eta_n} A \tau_{уст.н}. \quad (2.31)$$

Выражение (2.31) показывает, что для достижения максимальной мощности электродвигателя при заданных габаритных размерах он должен иметь наивысшей КПД и максимальную теплоотдачу, т.е. использовать вентилятор.

После отключения двигателя от электросети происходит его охлаждение до температуры окружающей среды ( $\Delta p = 0$ ). Если при этом принять  $Q = 0$  ( $\tau_{уст} = 0$ ), то из уравнения (2.29) можно получить уравнение охлаждения электродвигателя:

$$\tau = \tau_n l^{\frac{t}{T_{ox}}}, \quad (2.32)$$

где  $T_{ox}$  - постоянная времени охлаждения.

Зависимость (2.32) также носит экспоненциальный характер (см. рис. 2.21).

Из-за сложности аналитического расчета постоянной времени ее обычно определяют экспериментально. Для этого на основании экспериментальных исследований строят кривые нагревания и охлаждения двигателя, в которых проводят касательные до пересечения с прямой, параллельной оси абсцисс и характеризует установившийся режим двигателя.

Как правило, в расчетах принимают, что электродвигатель достигает установившегося режима работы за период времени



$$t = (3 \dots 4)T_{\text{наг}}, \quad (2.33)$$

где  $T_{\text{наг}}$  – постоянная времени нагрева двигателя, с. Для мощных двигателей  $T_{\text{наг}} = 0,3 \dots 2$  часа., для микромашин  $T_{\text{наг}} = 0,3 \dots 2$  мин. [9].

Главной причиной выхода двигателей из строя является нарушение изоляции. Изоляция в процессе работы электродвигателя претерпевает изменения – старение (уменьшается механическая прочность, образуются трещины, что снижает ее электрическую прочность). Старение изоляции обычно вызывается высокими температурами, а также большими перепадами температур между отдельными деталями двигателя, повышенной влажностью и др.

Экспериментальные исследования показали, что срок службы изоляции определяется зависимостью [9]

$$t_{\text{из}} = A_{\text{из}} e^{-at}, \quad (2.34)$$

где  $A_{\text{из}}$  и  $e$  - коэффициенты, зависящие от класса изоляции;

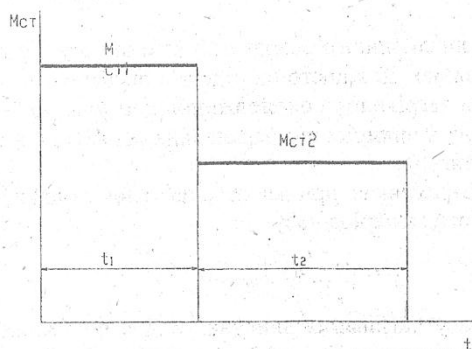
$t$  - температура нагрева изоляции, °С.

Для электродвигателей применяется изоляция таких классов (в скобках указана предельно допустимая температура, °С, при длительной работе):  $B(80)$ ;  $A(106)$ ;  $E(120)$ ;  $D(130)$ ;  $F(155)$ ;  $H(180)$ ;  $C (> 180)$ [9].

В приближительных расчетах принимают, что для изоляции класса  $A$  повышение температуры на 8°С снижает срок ее службы вдвое.

Допустимое повышение температуры устанавливается как разница между максимальной и стандартной температурой окружающей среды. За стандартную температуру окружающей среды принимается температура равная 35° С, которая используется во всех практических расчетах электродвигателей.

Основой для расчета мощности и выбора электродвигателя является диаграмма нагружения (рис. 2.22), из которой виден характер изменения статического момента на рабочем органе ручной машины за период полного времени цикла. Она строится на основе экспериментальных данных и зависит, прежде всего, от назначения машины и технологического процесса, в котором ее используют.



**Рисунок 2.22 – Диаграмма нагружения рабочего органа ручной машины**

Расчетная мощность двигателя ручных электрических машин вращательного действия (см. рис. 1.1, а...з) определяется по формуле

$$P_{\text{расч}}^0 = \frac{K_3 M_{\text{ст.экв}} \omega}{\eta_{\text{п.м.}}} \quad (2.35)$$

где  $P_{\text{роз}}^0$  - расчетная мощность двигателя, Вт;  
 $M_{\text{ст.экв}}$  - эквивалентный момент нагрузки, Н·м,

$$M_{\text{ст.экв.}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_{\text{ст.}i}^2 t_i}{t_{\text{ц}}}};$$

здесь  $M_{\text{ст.}i} t_i$  - момент и продолжительность  $i$ -го участка диаграммы нагружения, соответственно, Н·м и с;

$t_{\text{ц}} = \sum t_i + t_n$  - полное время цикла, с;

$t_n$  - продолжительность пауз, с;

$K_3 - 1, 1, \dots, 1, 3$  - коэффициент запаса, учитывающий динамические режимы электродвигателя, когда он работает с повышенными токами и моментами;

$\omega$  - угловая скорость установившегося движения рабочего органа, рад/с;

$\eta_{\text{п.м}}$  - КПД передаточного механизма.

Расчетная мощность двигателя ручных электрических машин ударного действия определяется по формуле

$$P_{\text{расч}}^y = \frac{k_3 E z}{\eta_{\text{п.м.}}} \quad (2.36)$$

где  $E$  - энергия одиночного удара, Дж;

$z$  - частота ударов, Гц.

Соответственно, мощность двигателя ручных электрических машин ударно-вращательного действия (например, перфораторов):

$$P_{\text{расч}}^{\text{ув}} = \frac{k_3 (Ez + M_{\text{ст.экв.}} \omega)}{\eta_{\text{п.м.}}} \quad (2.37)$$

По каталогу выбирается двигатель с соответствующей скоростью и конструктивным исполнением с номинальной мощностью  $P_n$ , равной  $P_{\text{расч}}$ , или с ближайшими большими показателями

$$P_n \geq P_{\text{расч.}}$$

В случае необходимости осуществляется проверка выбранного двигателя по пусковым условиям [9].

## 1.2 Пневматический привод

Пневматические двигатели преобразуют энергию сжатого воздуха в механическую энергию. Они работают от специально подготовленного сжатого воздуха, который поступает через рукав, присоединенный к компрессорной станции. Как правило, пневматические двигатели встроенного типа, т.е. они составляют неотъемлемую часть ручной машины.

Пневматический привод имеет следующие преимущества:

- высокая удельная мощность;
- нечувствительность к перегрузкам;

- безопасность при работе в экстремальных условиях (загазованность, наличие повышенной влажности воздуха, пожароопасность).

К недостаткам пневматического привода относятся:

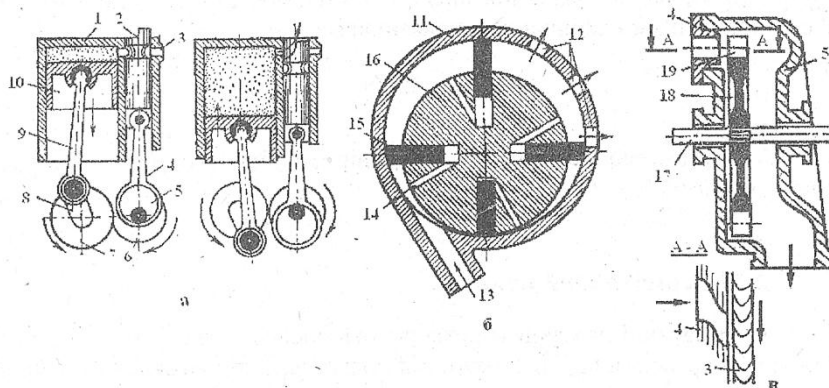
- значительно большие габаритные размеры по сравнению с гидравлическим приводом;

- необходимость в дополнительном оборудовании (компрессора, шлангов, аппаратуры для подготовки воздуха и др.);

- аэродинамический шум и вибрация.

По принципу действия пневматические двигатели подразделяются на поршневые, ротационные (роторные) и турбинные [7].

На рис. 2.23, а приведена схема действия поршневого пневматического двигателя со свободным поршнем. Преобразование возвратно-поступательного движения поршня в вращательное осуществляется с помощью кулисных, кулачковых и кривошипно-шатунных механизмов с золотниковым распределением воздуха. Сжатый воздух поступает через канал 3 в наружный распределитель 2, который регулирует его поступления в рабочий цилиндр 1. Если канал открыт, то сжатый воздух поступает в цилиндр и приводит в движение поршень 10, который через шатун 9 вращает коленвал 8. Вращение вала через зубчатую передачу 6 и 7 передается эксцентрику 5 и с помощью шатуна 4 превращается в вращательно-поступательное движение золотника 2. При достижении золотником крайнего нижнего положения открывается канал рабочей полости цилиндра, и сжатый воздух будет выходить в атмосферу. Дальнейшее движение поршня 10 вверх происходит за счет аналогичного поршня в другом (параллельно расположенном) цилиндре, с которым он связан коленчатым валом. При обратном движении поршень начинает выталкивать воздух, который остался в рабочей полости цилиндра, а затем цикл повторяется.



*а - поршневого б - ротационного; в - турбинного;*

*1 – цилиндр; 2 - золотниковый распределитель; 3 – канал; 4 - шатун;*

*5 – эксцентрик; 6, 7 - зубчатая передача; 8, 9 - кривошипно-шатунный механизм; 10 - поршень, 11 - статор, 12 - выпускные отверстия; 13 - отверстие для всасывания воздуха; 14 - каналы в теле ротора; 15 - лопатки; 16-ротор*

**Рисунок 2.23 - Схемы действия пневматических двигателей**

Поршневые пневмодвигатели из-за значительной массы и больших габаритных размеров применяют в ручных машинах тяжелых режимов работы, где требуется значительная мощность и пусковой момент при небольшой частоте вращения. Мощность таких двигателей составляет 0,4...4 кВт, а частота вращения 400...2000 об/мин.

Наибольшее распространение для привода ручных машин получили пневматические ротационные (пластинчатые) двигатели (рис.2.23, б). Эти двигатели характеризуются плавностью вращения, простотой конструкции и имеют значительно меньшую массу. На 1 кВт мощности пластинчатого двигателя приходится около 1 кг его массы, в то время как у поршневого более 10 кг.

Принцип действия двигателя: в роторе 16 в радиальных прорезях размещены 4 пластины (лопатки) 15. Ротор опирается на 2 шарикоподшипника, гнезда которых расположены эксцентрично относительно внутренней цилиндрической полости статора 11. В статоре просверлены отверстия 13 для всасывания воздуха и выпускные отверстия 12. Для уравнивания давления воздуха в рабочей полости и под лопатками в теле ротора предусмотрены каналы 14. Под действием сжатого воздуха ротор начинает вращаться, а затем под действием центробежной силы лопатки перемещаются и прижимаются к внутренней поверхности статора, создавая замкнутое пространство в камерах ротора, что приводит к увеличению крутящего момента.

Ротационный двигатель, который приведен на рис. 2.23, б, вращается только в одну сторону. В реверсном двигателе, ротор которого может вращаться в любую сторону, всасывающие отверстия в статоре располагают симметрично. Если подавать сжатый воздух в правый или левый впускной канал двигателя, изменяется направление вращения ротора. Однако КПД реверсивного двигателя меньше, чем у неревверсивного.

Частота вращения вала двигателя на холостом ходу почти в 2 раза больше, чем при номинальной нагрузке. Расход воздуха при работе на холостом ходу увеличиваются, а лопатки ротора и другие части изнашиваются более интенсивно.

Для шлифовальных машин такое увеличение частоты вращения шпинделя может завершиться разрывом абразивного круга. Поэтому пневматические машины с ротационным двигателем имеют центробежные регуляторы, которые при увеличении частоты вращения ротора уменьшают сечение канала, через который сжатый воздух подается в рабочую полость, и частота его вращения уменьшается. Для уменьшения частоты вращения шпинделя часто используют редукторы. Мощность ротационных двигателей для ручных машин составляет 0,18...2,6 кВт, частота вращения 3,5...350 об/с [7]. Недостатком таких двигателей является интенсивный износ лопаток и значительный шум в процессе работы.

В турбинных пневматических двигателях кинетическая энергия сжатого воздуха непосредственно преобразуется в механическую. Схема действия турбинного пневматического двигателя показана на рис. 2.23, в. Двигатель состоит из вала 17, на котором неподвижно закрепляется рабочее колесо 18 (турбина) с лопатками 19. Напротив лопаток под углом расположены неподвижно закрепленные сопла 20. При взаимодействии потока воздуха и лопаток рабочего колеса возникают силы, вызывающие вращение ротора.

При потоке из сопла сжатого воздуха, который имеет давление 0,5...0,7 МПа, скорость доходит дозвуковой 350...450 м/с, а при диаметре ротора 50...60 мм частота вращения доходит до  $1600 \text{ с}^{-1}$  [7]. Таким образом, верхний диапазон частоты вращения турбинных пневматических двигателей ограничивается только прочностью крепления и способностью подшипников.

Несмотря на простоту конструкции, малую массу и габариты, отсутствие деталей, между которыми происходит трение, а также сравнительно большой срок работы, турбинные пневматические двигатели имеют ограниченное применение в ручных машинах и используются в тех случаях, когда на шпинделе машины необходимо получить высокую частоту вращения и незначительный крутящий момент, например, в сверлильных машинах с диаметром сверла до 4 мм и в шлифовальных машинах с диаметром круга до 40 мм.

Для ручных пневматических машин используются турбинные двигатели мощностью до 400 Вт с частотой вращения 15000 об/мин. Иногда такие двигатели называют микротурбинными.

### 1.3 Гидравлический привод

В гидроприводе используется энергия рабочей жидкости, которая практически не сжимается. Рабочая жидкость (минеральное масло) нагнетается гидравлическими

насосами, а ее энергия превращается в поступательное движение поршня или во вращательное движение ротора гидродвигателя. Гидропривод применяется, как правило, для передачи мощности от основного двигателя к рабочему органу, а также в системах управления машинами.

Основными *преимуществами* гидравлического привода является [2]:

- компактность конструкции и надежность в работе;
- простота преобразования вращательного движения в поступательное;
- удобство управления и реверсирования;
- предотвращения перенапряжения двигателя и механизмов;
- низкий уровень шума;
- высокий КПД и экономичность работы;
- бесступенчатое независимое регулирование в широком диапазоне скоростей

исполнительных механизмов.

К *недостаткам* гидравлического привода относятся:

- необходимость в дополнительном оборудовании (насосов, соединительных шлангов, устройств для очистки рабочей жидкости и др.);
- возможность появления утечки рабочей жидкости;
- огнеопасность.

В зависимости от способа передачи энергии жидкости различают гидродинамические и гидростатические (гидрообъемные) приводы [7]. В приводах первого типа энергия передается, в основном, за счет изменения скорости перемещения рабочей жидкости (ее кинетической энергии), а в приводах второго типа - за счет статического давления жидкости. В ручных машинах используют, в основном, гидродинамические приводы.

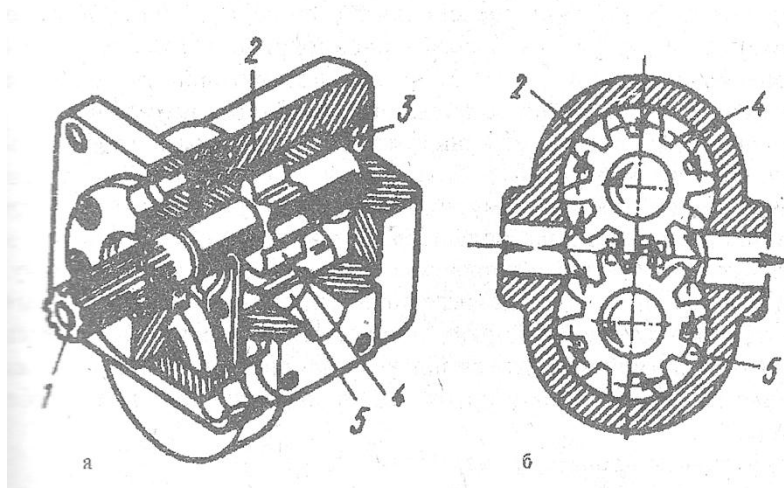
Рабочая жидкость в гидроприводах несет также и вспомогательные функции, она является смазочным и антикоррозийным материалом. В качестве рабочей жидкости используют масла на основе нефти с добавкой различных присадок, которые улучшают их эксплуатационные показатели.

В гидроприводах ручных машин используют как насосы для преобразования механической энергии привода в энергию потока рабочей жидкости, так и гидродвигатели, которые преобразуют энергию потока рабочей жидкости в механическую (вращение приводных валов исполнительных механизмов).

Насосы характеризуются давлением, что развивается и подачей (производительностью), а гидродвигатели - моментом, который развивает двигатель и частотой вращения вала. В зависимости от направления движения рабочей жидкости одни и те же конструкции могут быть как насосами, так и гидродвигателями.

С целью уменьшения габаритных размеров и массы ручных машин могут быть использованы шестеренные и ротационные (аналогичные пневматическим) гидродвигатели, а для подачи рабочей жидкости - как шестеренные насосы, так и роторно-поршневые, которые разделяются на аксиально-поршневые и радиально-поршневые.

Шестеренные насосы выполняют с внешним и внутренним зацеплением пар шестерен. Наиболее распространенные односекционные насосы типа НШ(рис.2.24) с внешним зацеплением шестерен, которые имеют от 6 до 12 зубьев [2].



*а - общий вид; б - схема работы;*

*1 - ведущий вал; 2 - корпус 3 – подшипники; 4 - ведущая шестерня;  
5 - ведомая шестерня*

**Рисунок 2.24 - Шестеренный односекционный насос**

Ведущая 4 и ведомая 5 шестерни выполнены как одно целое с валами 1, которые установлены на подшипниках скольжения 3 в корпусе 2, имеющем всасывающую и нагнетающую полости. При вращении шестерен рабочая жидкость из бака засасывается в всасывающую полость, заполняет пространство между зубцами и переносится в нагнетающую полость, откуда выдавливается в напорную магистраль зубцами шестерни, которые вступают в зацепление. В области выхода зубцов из зацепления создается вакуум, который вызывает всасывание рабочей жидкости.

Шестеренные насосы имеют постоянную подачу и работают в диапазоне 500...2500 об/мин.

Производительность шестеренных насосов [11]

$$Q = 2\pi \cdot m^2 \cdot z \cdot b \cdot n, \quad (2.38)$$

где  $Q$  - производительность насоса, см<sup>3</sup>/мин;

$m$  - модуль зацепления шестерен, см;

$z$  - число зубьев ведущей шестерни;

$b$  - ширина шестерни, см;

$n$  - частота вращения ведущей шестерни, об/мин.

Насосы типа НШ развивают давление до 15 МПа. Они просты по конструкции, малогабаритные, имеют незначительную стоимость. Основным недостатком является сравнительно малый КПД (0,6 ... 0,75) и небольшой срок эксплуатации при работе с большим давлением.

Конструкция ротационных насосов для подачи рабочей жидкости к гидроприводу аналогичная лопастным насосам пневмопривода (см. рис.2.23, б). Для обеспечения плотного контакта пластин с внутренней поверхностью корпуса (статора) под пластины устанавливают дополнительно пружины.

При вращении ротора между выступающими лопатками создаются замкнутые камеры, которые переносят рабочую жидкость из полости всасывания в полость нагнетания. Причем, чем больше эксцентриситет  $e$  ротора тем больший объем подаваемой жидкости. Благодаря выносу жидкости из полости всасывания, в ней создается вакуум, который всасывает жидкость из бака. При уменьшении эксцентриситета до  $e = 0$  жидкость не подается в нагнетающий трубопровод, а только циркулирует в насосе. Изменяя

направление эксцентриситета ротора (это выполняется путем соответствующего смещения статора), можно изменять направление потока жидкости, не изменяя направление вращения ротора.

Производительность лопастных насосов

$$Q = 2\pi \cdot b \cdot n(r_c^2 - r_p^2), \quad (2.39)$$

где  $Q$  - производительность лопастного насоса, см<sup>3</sup>/мин;

$n$  - частота вращения ротора, об/мин;

$b$  - ширина, пластин, см;

$r_c, r_p$  - радиусы статора и ротора соответственно, см.

Лопастные насосы рассчитываются на давление в гидросистеме до 14...17 МПа, КПД составляет  $\eta = 0,8...0,85$ .

Учитывая сложность и значительные габаритные размеры и массу, роторно-поршневые (аксиально- и радиально-поршневые) двигатели в ручных машинах используются ограниченно. Их, в основном, используют в качестве насосов компрессорных установок, конструкция, расчет и технические характеристики которых приведены в[2].

#### 1.4 Двигатели внутреннего сгорания

Двигатели внутреннего сгорания (рис. 2.25) используют в качестве привода дисковых и цепных пил. Их *преимуществами* являются:

- автономность и независимость от внешних источников энергии;
- высокая экономичность;
- невысокий удельный вес на единицу мощности;
- постоянная готовность к работе.

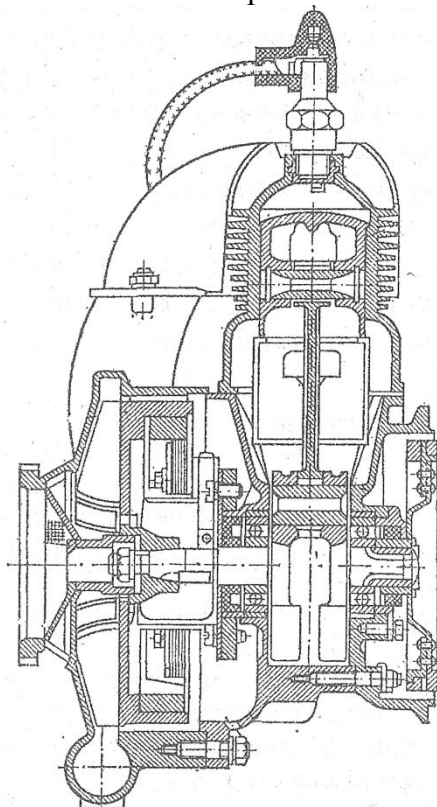


Рисунок 2.25 - Схема строения двигателя внутреннего сгорания

В двигателях внутреннего сгорания тепловая энергия смеси сгорания, топлива с воздухом превращается в механическую энергию коленчатого вала, который вращается. При сгорании сжатой поршнем топливовоздушной смеси в цилиндре двигателя продукты сгорания (газы) расширяются, давят на поршень, который через шатун передает усилие на коленчатый вал, который начинает вращаться. Вал двигателя соединяется с трансмиссией машины гидравлической или фрикционной муфтой.

К недостаткам двигателей внутреннего сгорания относят:

- невозможность реверсирования (изменения направления вращения вала) и пуска под нагрузкой;
- сравнительно небольшой диапазон непосредственного регулирования скорости и крутящего момента;
- высокая чувствительность к перегрузкам;
- сложность пуска при низких температурах;
- сравнительно малый срок работы (3000 ... 4000 часов);
- значительная стоимость эксплуатации;
- негативное влияние на окружающую среду.

По виду используемого топлива и способу его возгорания различают карбюраторные двигатели, работающие на бензине или газе с воспламенением топливовоздушной смеси, приготовленной в карбюраторе, электрической искрой, и дизельные, работающие на дизельном топливе с воспламенением топливовоздушной смеси в результате ее нагрева при сжатии в цилиндре. Дизельные двигатели получили большее распространение благодаря большей (1,3...1,5 раза) экономичности, более высокому (на 30 ... 40%) КПД и возможности работать на более дешевом топливе.

## 1.5 Контрольные вопросы

- 1 Какие преимущества и недостатки имеют ручные машины с электроприводом?
- 2 Какие типы электродвигателей используются в ручных машинах?
- 3 Как определяется частота вращения ротора асинхронного двигателя и способы ее регулирования?
- 4 Средства улучшения работы асинхронных двигателей в пусковой период.
- 5 Строение и принцип действия преобразователей частоты тока.
- 6 Строение и принцип действия однофазных асинхронных двигателей.
- 7 Строение и принцип действия универсальных коллекторных двигателей.
- 8 Как рассчитывается емкость конденсатора при включении асинхронного двигателя в однофазную сеть?
- 9 Как рассчитывается мощность асинхронного двигателя?
- 10 Как определяется КПД двигателей постоянного и переменного тока?
- 11 Назначение и устройство машин постоянного тока.
- 12 Строение и принцип действия пневматических двигателей, используемых в ручных машинах.
- 13 Основные преимущества и недостатки пневматических двигателей, используемых в ручных машинах.
- 14 Строение и принцип действия гидравлических двигателей, используемых в ручных машинах.
- 15 Основные преимущества и недостатки гидравлических двигателей, которые используются в ручных машинах.
- 16 Основные преимущества и недостатки двигателей внутреннего сгорания, которые используются в ручных машинах.



## Лекция №3. ПЕРЕДАТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И УСТРОЙСТВО РУЧНЫХ МАШИН

### 3.1 Основные параметры передаточных механизмов

Передача движения от двигателя к исполнительному звену ручной машины может быть обеспечена различными передаточными механизмами, структура и конструктивные особенности которых зависят от назначения машины, типа используемого двигателя, надежности и безопасности в работе.

Передаточные механизмы служат для передачи энергии от двигателя к исполнительному звену. При этом может изменяться скорость движения, значение крутящего момента, направление и характер движения и другие параметры. Для изменения направления и характера движения используются зубчато-реечные, винтовые, кулисно-рычажные, кулачковые и другие механизмы.

Основными параметрами передаточного механизма является передаточное число  $i$ , крутящий момент на ведущем  $T_1$  и ведомом  $T_2$  валах, коэффициент полезного действия (КПД).

Передаточным числом называют соотношение угловой скорости  $\omega_1$  ведущего вала к угловой скорости  $\omega_2$  ведомого вала

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (3.1)$$

Передаточное число можно вычислить также по формуле

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{T_2}{T_1 \cdot \eta} \quad (3.2)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  - частота вращения ведущего и ведомого вала, 1/с;

$T_1$  и  $T_2$  - крутящие моменты на ведущем и ведомом валах, Н·м;

$\eta$  - КПД передаточного механизма.

Передаточные механизмы могут быть с постоянным и переменным передаточным числом. Различают также понижающие (редукторные) передачи ( $i > 1$ ) и повышающие мультипликаторные передачи ( $i < 1$ ). В передаточных механизмах ручных машин, в основном, используют понижающие передачи с постоянным передаточным числом. Частота вращения исполнительного звена регулируется преимущественно самим двигателем.

Если передаточный механизм состоит из нескольких передач, то общее передаточное число исчисляется как произведение передаточных чисел отдельных передач:

$$i = i_1 \cdot i_2 \dots i_n \quad (3.3)$$

КПД передаточного механизма определяется как соотношение мощности  $P_2$  на ведомом валу к мощности  $P_1$  на ведущем валу:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (3.4)$$

Общий КПД равен произведению КПД отдельных элементов передач:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \dots \eta_n \quad (3.5)$$

В связи с использованием в качестве двигателя высокоскоростных электродвигателей в ручных машинах чаще встречаются понижающие передаточные механизмы на основе использования зубчатых цилиндрических и конических передач, а также планетарных и волновых передач. Тип передаточного механизма выбирается исходя из сложности его конструкции, КПД, габаритных размеров и массы, удобства в обслуживании, долговечности в работе, сметы и других показателей.

### 3.2 Зубчатые передачи и их разновидности

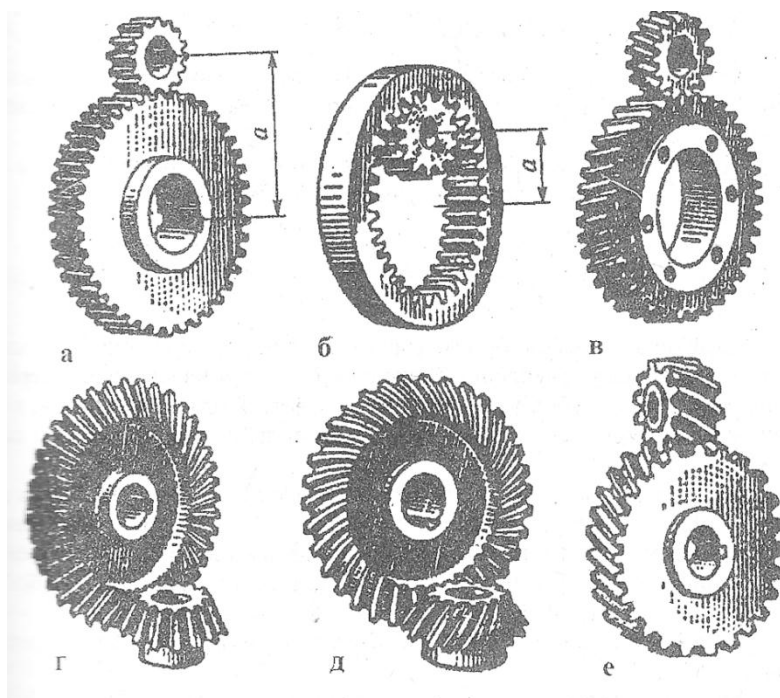
В ручных машинах чаще всего используют зубчатые передачи, у которых ведущее колесо (шестерня) постоянно находится в зацеплении с ведомым колесом. По относительному взаиморасположению шестерни и колеса различают зубчатые передачи с внешним (рис.3.1, а) и внутренним зацеплением (рис.3.1, б). Оси валов колеса и шестерни могут быть: параллельными (рис. 3.1, а, б, в), пересекающимися (рис. 3.1, г, д) или скрещивающимися (рис. 3.1, е).

По расположению зубьев на колесах передачи бывают прямозубые (см. рис. 3.1, а, б, г), косозубые (рис. 3.1, в) и с круговой формой зуба (рис. 3.1, д).

По форме профиля зубьев различают эвольвентные зубчатые передачи, получившие преимущественное распространение, и зубчатые передачи с круговым профилем зубьев (передачи с зацеплением Новикова).

По конструктивному оформлению зубчатые передачи бывают: закрытые (размещенные в специальном корпусе и обеспеченные постоянным смазыванием) и открытые (работают без масла или смазываются периодически).

Зубчатые передачи отличаются от других передач высокой удельной мощностью, обеспечивают постоянство передаточного числа, имеют малые габариты, высокий КПД и надежность в работе. К недостаткам зубчатых передач относят наличие значительного шума, особенно при работе высокоскоростных ручных машин, и потребность в постоянной смазке.



*a* - прямозубая с внешним зацеплением; *b* - прямозубая с внутренним зацеплением; *v* - косозубая цилиндрическая; *z* - прямозубая коническая; *d* - коническая гипоидная, *e* - цилиндрическая винтовая

### **Рисунок 3.1 – Разновидности зубчатых передач**

К основным параметрам зубчатой передачи относятся:  $z_1$  и  $z_2$  – число зубьев, соответственно, шестерни и колеса;  $i = z_2/z_1$  - передаточное число;  $m = d_1/z_1 = d_2/z_2$  - модуль зацепления, мм;  $a = m(z_1 + z_2)/2$  - межосевое расстояние колеса и шестерни, мм;  $b = (6...10)m$  - ширина рабочей части колеса, мм;  $d_1$  и  $d_2$  - диаметры делительной окружности (делительные диаметры), соответственно, шестерни и колеса, мм.

Угловой шаг зубьев

$$\tau = \frac{2\pi}{z}. \quad (3.6)$$

Угол поворота зубчатого колеса от момента входа зубца в зацепление с момента выхода его из зацепления называется углом перекрытия и обозначается  $\phi$ .

Отношение угла перекрытия зубчатого колеса передачи к его угловому шагу называется коэффициентом перекрытия

$$\varepsilon = \frac{\phi}{\tau}. \quad (3.7)$$

Коэффициент перекрытия определяет среднее число пар зубьев, которые одновременно находятся в зацеплении. Если  $\varepsilon = 1,7$ , это означает, что 0,3 периода зацепления одного зубца в зацеплении находится одна пара зубьев, а 0,7 периода зацепления того же зубца в зацеплении находятся две пары зубьев.

С увеличением коэффициента перекрытия повышается плавность работы и несущая способность передачи, уменьшаются динамические нагрузки и шум передачи. Поэтому в быстроходных передачах используют косозубые колеса или колеса с криволинейными зубьями, которые обеспечивают большие коэффициенты перекрытия.

Геометрические и кинематические параметры зубчатых передач стандартизированы.

Модули зубьев выбираются из нормального ряда: 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10 [10].

Уменьшение габаритных размеров зубчатой передачи возможно за счет уменьшения модуля (использование легированных сталей с высокими механическими характеристиками) и числа зубьев колеса и шестерни.

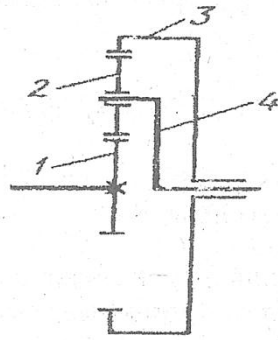
При уменьшении числа зубьев увеличивается кривизна эвольвентного профиля и, соответственно, уменьшается толщина зубьев у их основания и вершине. Если количество зубьев  $z < 17$ , то при нарезке их инструментальной рейкой происходит подрез ножек зубьев, что приводит к уменьшению их прочности.

Для устранения явления подрезания зубьев нормального эвольвентного зацепления используют корректировку (высотная и угловая коррекция профиля зуба).

Высотная коррекция позволяет увеличить прочность зубьев шестерни с одновременным уменьшением прочности зубьев колеса. Угловая коррекция может быть использована при произвольной комбинации чисел зубьев шестерни и колеса. При этом повышается прочность зубьев колеса и шестерни и появляется возможность вписывания зубчатой передачи в заранее заданное межосевое расстояние.

### **3.3 Планетарные зубчатые передачи**

Передачи, которые включают зубчатые цилиндрические колеса с подвижными осями, называют планетарными (рис. 3.2). В планетарных передачах зубчатые колеса вращаются не только относительно своей оси, а также относительно центральной оси передачи.



1 – солнечная шестерня; 2 – сателлит 3 – венец; 4 – водило  
**Рисунок 3.2 – Кинематическая схема планетарной передачи**

Колеса, которые выполняют такие сложные движения, называют сателлитами. Центральное колесо, относительно которого вращаются сателлиты, называют солнечным, а внешнее с внутренним зубцами - венцом. Оси сателлитов закрепляются на одном звене, которое называется водило.

Благодаря своей компактности и незначительной массе такие передачи все шире используются в ручных машинах. При этом масса планетарного редуктора уменьшается в 2-3 раза по сравнению с рядовыми зубчатыми редукторами для тех же нагрузок и передаточных чисел. Это достигается за счет повышенной несущей способности внутреннего зацепления зубчатых колес, распределения нагрузки на несколько потоков, число которых равно числу сателлитов, взаимного уравнивания радиальных сил при симметричном размещении сателлитов.

К планетарным передачам предъявляются повышенные требования по точности изготовления и монтажа.

Основной характеристикой планетарной передачи является передаточное число, которое зависит от кинематической схемы и количества зубьев на колесах находящихся в зацеплении [2, 11, 12].

Наиболее распространенной схемой, которая используется в ручных машинах, является одноступенчатая планетарная передача с неподвижным венцом (см. рис. 3.2).

Передаточное число такой передачи

$$i_{1-4} = 1 + \frac{z_3}{z_1}, \quad (3.8)$$

где  $z_1$  и  $z_3$  - соответственно, число зубьев солнечной шестерни и венца.

Как правило,  $z_3/z_1 \approx 1,5 \dots 5$ , а КПД такой передачи  $\eta = 0,96 \dots 0,97$ .

С целью увеличения общего передаточного числа в редукторах устанавливают последовательно 2-3 одноступенчатые передачи или применяют двухступенчатые планетарные передачи, КПД которых снижается в значительной степени [13].

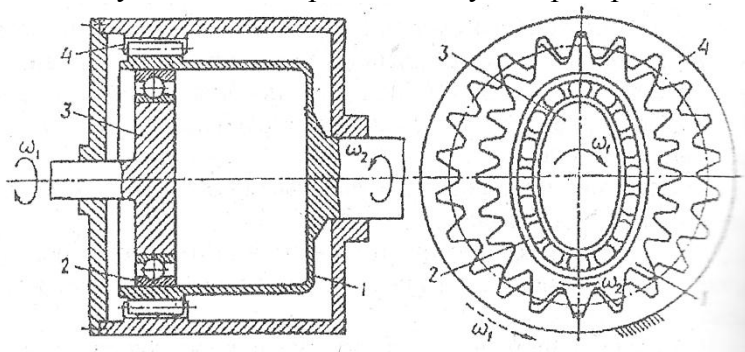
Передаточное число редуктора с последовательно установленными одноступенчатыми передачами

$$i = i_{(1-4)1} \cdot i_{(1-4)2} \dots i_{(1-4)n}. \quad (3.9)$$

### 3.4 Волновые зубчатые передачи

Волновая передача (рис. 3.3) состоит из гибкого зубчатого венца 1, соединенного с ведомым валом и деформированного генератором волн 3, на котором размещен гибкий подшипник 2 [10]. Гибкий зубчатый венец в деформированном состоянии входит в зацепление с двух диаметрально противоположных сторон с неподвижным жестким

зубчатым венцом 4, размещенным в корпусе передачи и имеющим внутренние зубья. При вращении генератора волн, выполненного в виде кулачка, с угловой скоростью  $\omega_1$ , гибкое колесо и ведомый вал, связанный с ним, будут вращаться с угловой скоростью  $\omega_2$ . Передача вращательного движения с изменением угловой скорости обеспечивается разницей чисел зубьев жесткого и гибкого зубчатых колес. Гибкий подшипник предназначен для уменьшения трения между генератором волн и гибким колесом.



1 – гибкий зубчатый венец; 2 – гибкий подшипник; 3 – генератор волн; 4 – жесткий зубчатый венец

**Рисунок 3.3 – Принципиальная схема волновой передачи**

По количеству волн, которые воспринимает гибкое колесо за один оборот генератора, различают одно-, двух-, трех и четырехволновые передачи. На сегодня известно большое количество схем и конструкций волновых зубчатых передач [10,11]. Наиболее распространенной схемой волновой передачи, которая может быть использована в передаточных механизмах ручных машин, является схема одноступенчатой волновой передачи с неподвижным жестким венцом. Такая передача в сравнении с другими имеет следующие *преимущества*:

- достаточно высокая несущая способность при малой массе и габаритах;
- возможность осуществления с помощью одной пары колес больших передаточных чисел в пределах 60 ... 300;
- достаточно высокий КПД, который достигает 0,85 ... 0,90.

*Недостатками* волновых передач являются:

- ограничение частоты вращения генератора волн (до 4000 мин<sup>-1</sup>);
- сложность изготовления гибкого колеса;
- малая долговечность гибкого колеса.

Основной характеристикой волновой передачи является передаточное число, которое зависит от кинематической схемы и способа крепления ведомого вала.

Передаточное число волновой передачи, в которой гибкое колесо соединено с ведомым валом (см. рис. 3.3):

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_1}{(z_2 - z_1)}, \quad (3.10)$$

где  $z_1$  - количество зубьев гибкого колеса;

$z_2$  - количество зубьев жесткого колеса.

Разница  $z_2 - z_1$  должна быть кратной числу волн деформации гибкого колеса (по условию возможности составления передачи), т.е.

$$z_2 - z_1 = K_z \nu, \quad (3.11)$$

где  $K_z$  - коэффициент кратности, который в большинстве случаев равняется единице при  $i > 70$ ;

$\nu$  - число волн деформации гибкого колеса (чаще всего берут  $\nu = 2$ ).

Диаметр делительной окружности зубчатого венца ведомого колеса (гибкого или жесткого) определяют из условия ограничения напряжения смятия на поверхности контакта зубьев.

$$d = \sqrt[3]{\frac{10^4 T_2}{\psi_{bd} [\sigma]_{зм}}}, \quad (3.12)$$

где  $d$  - диаметр делительной окружности венца, мм;

$T_2$  - крутящий момент на ведомом валу, Нм;

$\psi_{bd} = b/d = 0,1 \dots 0,2$  - коэффициент ширины зубчатого венца;

$[\sigma]_{см}$  - допустимые напряжения смятия, МПа. Для стальных зубчатых колес (20ХНЗА, 30ХГСА, 40Х и др.) допустимое напряжение  $[\sigma]_{см} = 10 \dots 20$  МПа.

Модуль зубьев волновой передачи

$$m = d/z, \quad (3.13)$$

где  $z = iKz_v$  - количество зубьев на ведомом колесе.

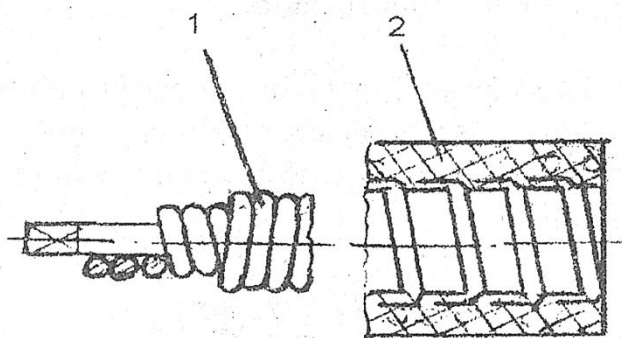
Модуль зубьев округляется до стандартного значения в пределах  $0,2 \leq m \leq 2$  мм.

Волновая передача с диаметром делительной окружности около 50 мм может передавать крутящий момент около 30 Нм[10].

### 3.5 Гибкие валы

Для передачи крутящего момента от двигателя к рабочему органу в мощных ручных машинах используют гибкие валы. Это дает возможность не только увеличить рабочее пространство исполнительного звена машины, но и уменьшить усилия оператора при выполнении технологических процессов [2].

Гибкий вал состоит из стальной сердцевинки, на которой навито несколько слоев стальной проволоки и гибкого рукава (рис. 3.4). Каждый навитый слой состоит из нескольких проволок одного диаметра, плотно прилегающих друг к другу. Направление витков каждого слоя противоположно направлению предыдущего. Для валов правого вращения верхний слой имеет левую навивку, а для валов левого вращения - правую навивку. Гибкий рукав защищает вал от повреждений, и удерживает смазку. В нем есть внутренняя оболочка из стальной ленты определенного профиля, которая является опорой гибкого вала и навита в направлении, противоположном направлению вращения гибкого вала. Спираль, вставленная в гибкий металорукав, который внешне обматывается тонкой спиральной проволокой и покрывается слоем резины с хлопковыми прокладками. Этот слой защищает рукав от растяжения.



1 - сердечник; 2 - рукав  
Рисунок 3.4 - Гибкий вал

Соединение гибкого вала и его рукава с двигателем и рабочей головкой выполняется конечной арматурой. Крепление арматуры к корпусу и рабочего механизма выполняется с помощью резьбового крепления. Присоединение вала к двигателю производится арматурой с компенсационным скользящим концом.

Силовые гибкие валы способны передавать максимальный крутящий момент около 120 Нм при частоте вращения 1000...1200 об/мин. Диаметр гибкого вала 5...40 мм [2]. При этом скорость скольжения внешней поверхности гибкого вала относительно внутренней поверхности брони не должна превышать  $v < 3$  м/с. Увеличение скорости приводит к перегреву передачи, выгоранию масла и снижению работоспособности узла.

Уточненный расчетный крутящий момент определяется по формуле:

$$M_p = \frac{M_k K_b K_p K_v}{\eta}, \quad (3.14)$$

где  $M_k$  - крутящий момент на ведомом конце вала, необходимый для выполнения технологической операции, Нм;

$K_b$  - коэффициент закрепления брони;

$K_p$  - коэффициент режима работы;

$K_v$  - скоростной коэффициент;

$\eta$  - КПД передачи (зависит от длины и количества перегибов, крутящего момента и частоты вращения, вида масла и конструкции брони). Ориентировочно КПД определяется по данным заводов-изготовителей гибких валов.

### 3.6 Контрольные вопросы

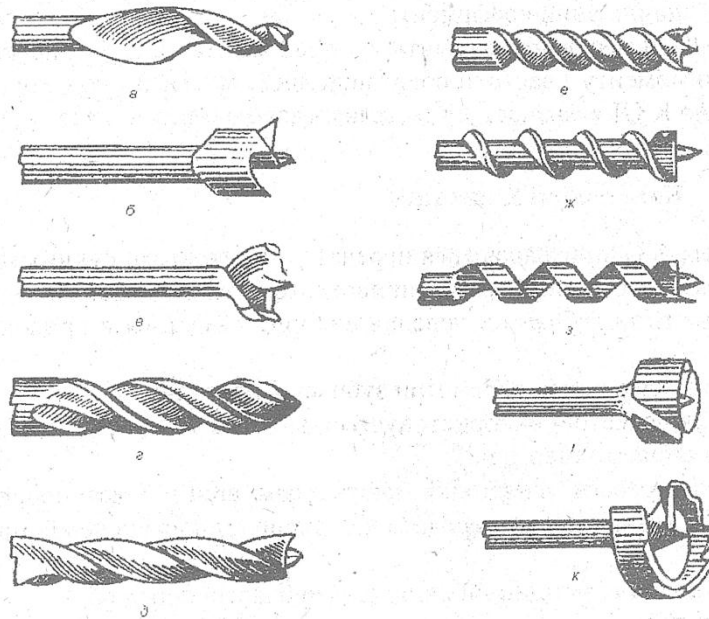
- 1 Для чего предназначаются передаточные механизмы ручных машин?
- 2 Назовите основные параметры передаточного механизма.
- 3 Какие типы зубчатых передач используются в приводах ручных машин?
- 4 Назовите основные параметры зубчатой передачи.
- 5 С какой целью используется высотная и угловая коррекция профиля зубьев в зубчатой передаче?
- 6 Какие преимущества и недостатки имеют планетарные зубчатые передачи?
- 7 Как определяется передаточное число одноступенчатой планетарной передачи?
- 8 Строение и принцип действия волновой зубчатой передачи.
- 9 Какие преимущества и недостатки имеют волновые зубчатые передачи?
- 10 Как определяется передаточное число одноступенчатой волновой передачи?
- 11 Схема строения сердечника и рукава гибкого вала ручной машины.
- 12 Из какого материала изготавливают гибкие колеса волновых зубчатых передач?
- 13 Как выбирается разница зубьев жесткого и гибкого колес одноступенчатой волновой передачи?
- 14 Чем отличаются зубчатые передачи с эвольвентным зацеплением от передач с зацеплением Новикова?

## Лекция №4. ИНСТРУМЕНТ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РУЧНЫХ МАШИН

### 4.1 Разновидности режущего инструмента и область его применения

Для выполнения цилиндрических отверстий в деревянных, металлических и строительных сооружениях используют сверла, конструкция и основные геометрические параметры которых резко отличаются, в зависимости от их назначения.

Сверла для обработки дерева (рис. 4.1) выбирают в зависимости от рода и строения древесины, глубины сверления и чистоты обработки. Они отличаются также конструкцией режущей части и элементов для отвода стружки.

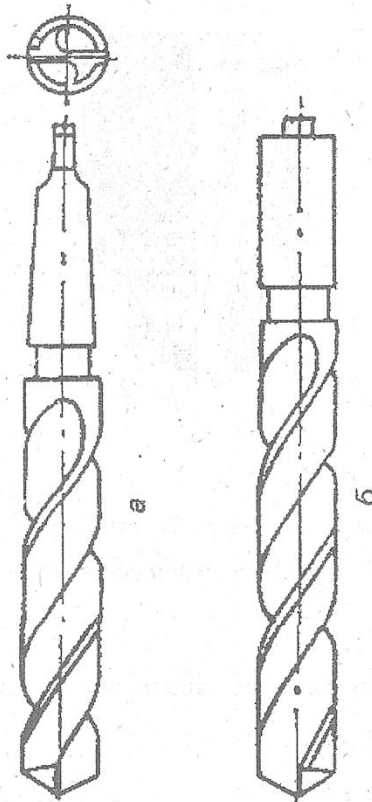


*а – ложковое; б, в – центровые; г – винтовое; д – шнековое; е, ж – спиральные;*

*з – раздвижное, и, к – подрезные*

**Рисунок 4.1 - Сверла по дереву**





*а - с коническим хвостовиком; б- с цилиндрическим хвостовиком*

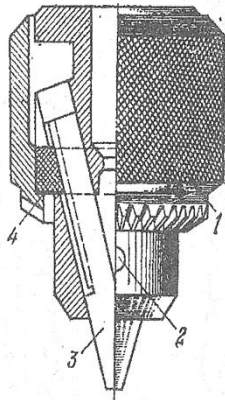
**Рисунок 4.2 - Конструкция спиральных сверл**

Закрепляют сверла в ручных машинах в зависимости от формы хвостовика тремя способами:

- непосредственно в коническое отверстие шпинделя;
- с помощью переходных конических втулок;
- с помощью патрона;

Коническая часть, выполненная с конусом Морзе, служит для автоматической центровки сверла в шпинделе, который имеет аналогичную коническую выточку. Лапка на конической части не дает возможности ему вращаться относительно шпинделя.

Сверла, которые имеют цилиндрический хвостовик, закрепляют в сверлильных трехкулачковых патронах (рис.4.3), которые с помощью хвостовиков с конусом Морзе закрепляются непосредственно в шпинделе ручной машины. При вращении обоймы специальным ключом, на котором расположены конические зубья, кулачки сходятся или расходятся, т.е. происходит зажимание (разжимание) рабочего инструмента.



1 – обойма; 2 – отверстие; 3 – кулачки; 4 – гайка  
**Рисунок 4.3 – Трехкулачковый сверлильный патрон**

Таблица 4.3 – Углы заточки спиральных сверл

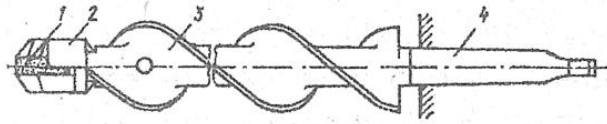
Материал	Значение центрального угла при вершине сверла, ...°
Сталь и чугун	116...118
Латунь, бронза, алюминий	130...140
Медь	125
Силумин	90...100
Мрамор и керамические материалы	80
Пластмассы	50...60

Поскольку износостойкость спиральных сверл при работе с абразивными строительными материалами (бетон, цемент) очень мала, их использование в определённых условиях ограничено.

Для повышения износостойкости режущей части сверла при обработке твердых и абразивных материалов используют твердосплавный инструмент на основе металлокерамического сплава (ВК2, ВК6), который состоит из зерен карбида (углеродистых соединений), вольфрама и кобальта.

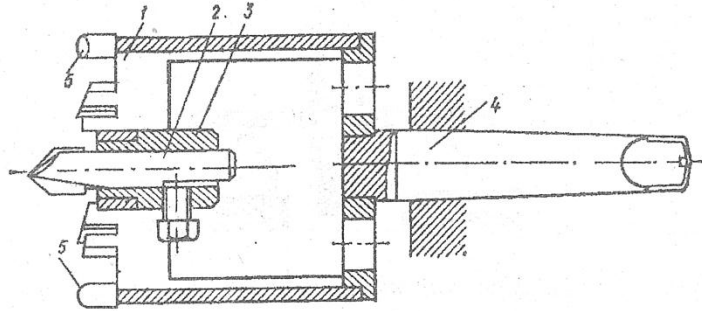
Конструкции таких насадок для сверления сплошных и глухих отверстий приведены на рис. 4.4 и 4.5. Недостатком твердосплавных насадок является невозможность их использования при значительных ударных нагрузках.

Для выполнения шлифовальных, зачистных и полировальных операций и отрезки сортового металлопроката используют шлифовальные круги, которые характеризуются образованностью материала, зернистостью, связкой, твердостью, прочностью и геометрической формой.



1 - твердосплавная пластина; 2 – резец; 3 – штанга; 4 – хвостовик

**Рисунок 4.4 – Двухлезвийный резец**



1 – корпус; 2 - центровое сверло; 3 – черенок; 4 – хвостовик; 5 – резец

**Рисунок 4.5 - Шлямбурный резец РШ**

В качестве абразивного материала в шлифовальных кругах может быть электрокорунд, карбид кремния или природные корунд и кремний. Эти материалы или кристаллы имеют достаточную твердость и прочность, благодаря чему они могут обрабатывать другие твердые материалы путем царапания или стирания.

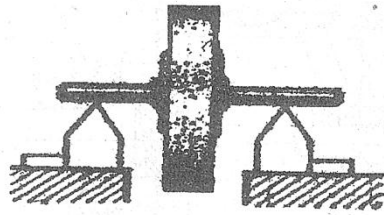
Зернистость характеризует размер зерен основной фракции абразивного материала. Стандарт определяет ряд зернистостей от 16 до 200 (160...2000 мкм). Чем большие требования к чистоте поверхности, тем более мелкозернистым должен быть шлифовальный круг.

Качество связи определяет жесткость и прочность шлифовального круга. По видам связи шлифовальные круги могут иметь керамическую (К), бакелитовую (Б) или вулканическую (В) связи. Шлифовальные круги с вулканической связкой имеют высокую режущую способность и пластичность, но не пригодны для снятия больших припусков, имеют низкую теплостойкость и круговую скорость до 18 м/с. Круги с керамической связкой обладают высокой прочностью, износостойкостью, легко режут металл, но чувствительны к ударным и изгибающим нагрузкам. Они работают при круговой скорости до 35 м/с. Круги с бакелитовой связкой имеют высокую прочность и упругость. Это позволяет изготавливать их толщиной менее 1 мм и работать с круговой скоростью до 75 м/с, выполняя отрезные операции [4].

Для резки различных материалов используют армированные стекловолоконные круги, что повышает их круговую скорость, до 80...100 м/с, исключает поломки при боковых нагрузках и повышает производительность. По твердости абразивного материала шлифовальные круги делятся на 7 групп.

По геометрической форме шлифовальные круги имеют 18 разновидностей (табл. 4.2). Наиболее распространенными являются профили ПП, ПВ, Д, ЧЦ, ЧК.

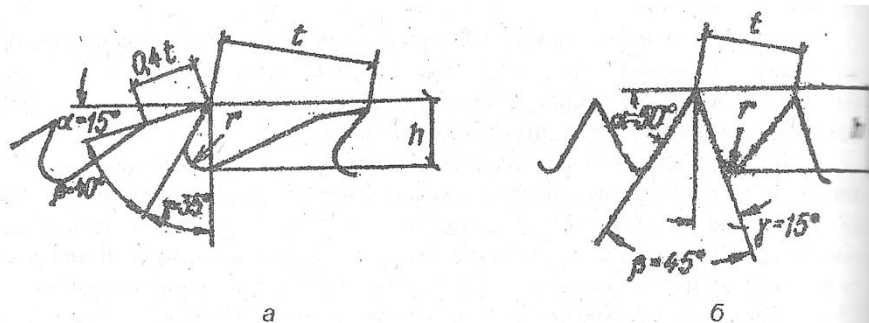
Шлифовальные круги диаметром 125 мм и более подлежат статической балансировке на устройстве с опорными ножами (рис. 4.6). Перед установкой шлифовального круга на ручную машину он подлежит испытанию на механическую прочность при скорости, превышающей номинальное значение на 50%.



**Рисунок 4.6 - Устройство для статической балансировки шлифовального круга с опорными ножками**

С целью уменьшения внутренних нагрузок в шлифовальном круге, между фланцем и кругом устанавливают прокладки из картона или резины толщиной 0,3...0,5 мм.

Дисковые круглые пилы по дереву представляют собой круглый стальной диск, по периферии которого располагаются зубья (рис. 4.7).



*а - профиль зубьев для пиления вдоль древесины; б-профиль зубьев для пиления поперек древесины*

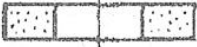





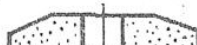
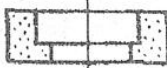

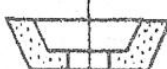




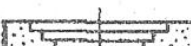
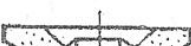

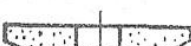
**Рисунок 4.7 - Профиль дисковых круглых пил**

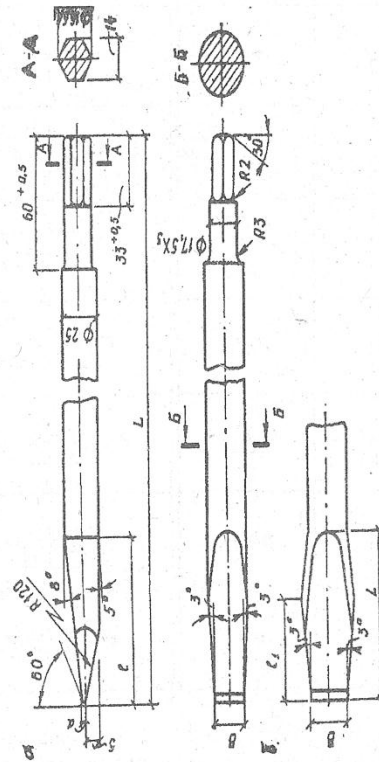
Диски изготавливаются из легированной стали с последующей термической обработкой зубьев HRC39...44. Диаметр пилы 150...300 мм, толщина 1,2 ... 1,8 мм, количество зубьев 36...96. Шаг зубьев  $t = \frac{D}{z_3}$ ; высота зубьев  $h_a = 0,4...0,5t$ ;  $h_o = 0,9t$ ; радиус впадины  $r = (0,1...0,15)t$ . С целью уменьшения трения пилы с боковой поверхностью древесины зубья пилы отгибают в стороны на 0,5...0,7 мм.

Для ручных машин ударного действия используют пики длиной 335 и 400 мм и зубила длиной 180...240 мм (рис. 4.8). Их изготавливают из стали 45 или углеродистой инструментальной стали У8 (У8А), с последующей термической обработкой рабочей части до HRC 45...55.

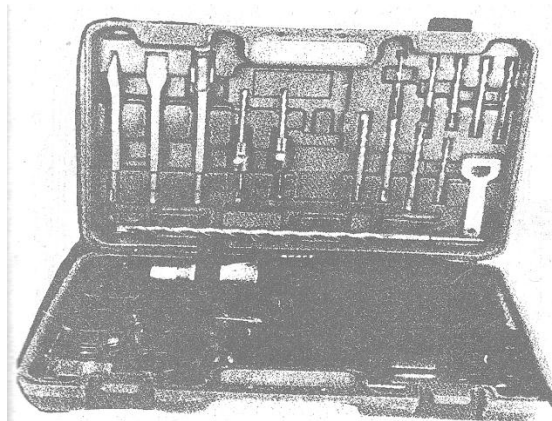
Универсальные ручные машины довольно часто поставляются с комплектом рабочего инструмента заводами-производителями (рис.4.9), что повышает их производительность и эффективность их использования.

Таблица 4.2 – Форма шлифовальных кругов

Профиль круга	Позначка	Профиль круга	Позначка
	ПП		ПН
	2П		Д
	3П		К
	4П		4Ц
	ПВ		4К
	ПВК		1Т
	ПВД		2Т
	ПВДК		3Т
	ПР		4Т



**Рисунок 4.8 –Зубило клепального молотка**



**Рисунок 4.9 - Ручная машина с комплектом рабочего инструмента**

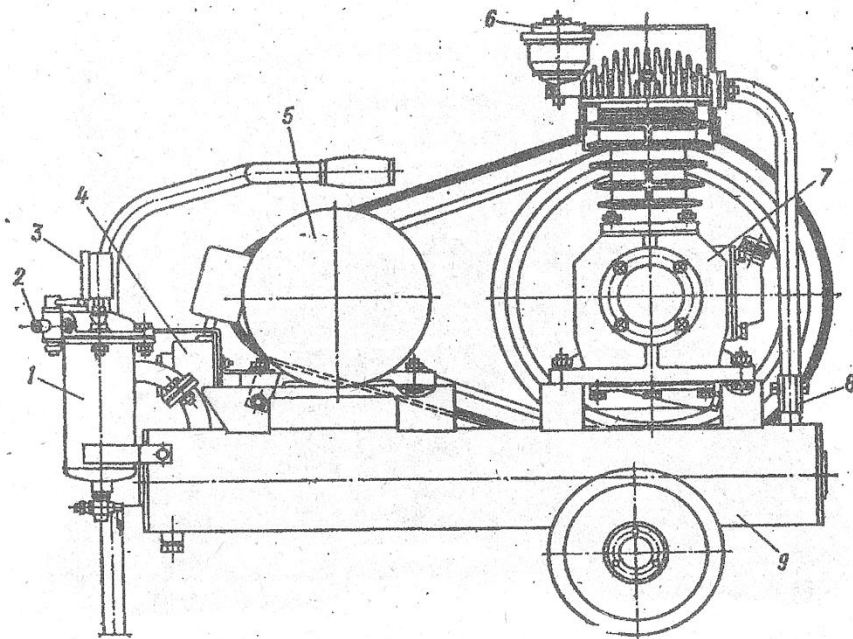
## **1.6 Вспомогательное оборудование ручных машин**

Для питания электрических машин, двигатели которых работают от тока напряжением 36 или 127 В, используют переносные понижающие трансформаторы.

Электрические преобразователи частоты тока используют для преобразования переменного трехфазного тока частотой 50 Гц в переменный трехфазный ток повышенной частоты (60...200 Гц), который необходим для питания высокочастотных ручных машин. По конструкции преобразователи частоты могут быть двухмашинными и одномашинными (см. рис. 2.11 и 2.12).

Для питания сжатым воздухом пневматических ручных машин используют стационарные и передвижные воздушно-компрессорные станции. Наиболее распространенными в строительстве являются поршневые двухцилиндровые одноступенчатые простого действия компрессоры с воздушным охлаждением цилиндров. При незначительных объемах работ применяют компрессоры малой

производительности типа СО - 7А (рис.4.10). При собственной массе 140 кг компрессор имеет производительность 30 м<sup>3</sup>/ч и максимальное рабочее давление 0,7 МПа [13].



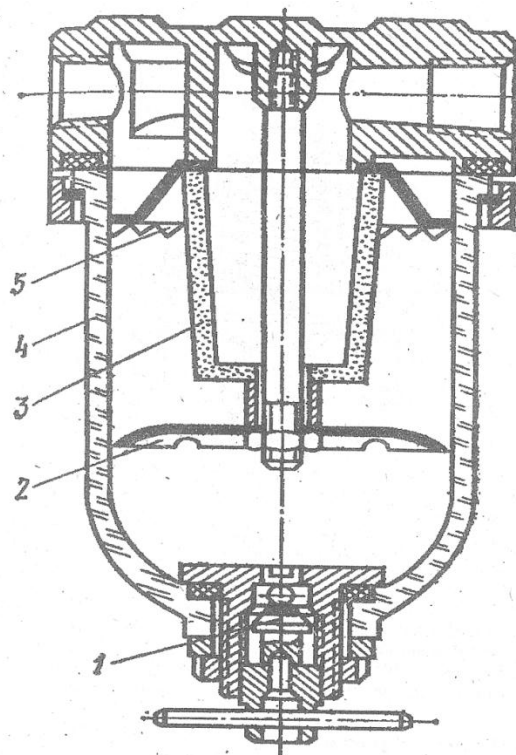
*1 – Масловодоотделитель; 2 – кран; 3 - манометр; 4 - пускатель; 5 - электродвигатель; 6 - воздушный фильтр; 7 – компрессор; 8 - нагнетательный трубопровод; 9 - ресивер*

**Рисунок 4.10 - Компрессор малой производительности СО - 7А**

В связи с требованиями к качеству воздуха, которое должно поступать в пневматические ручные машины, в сеть устанавливают фильтры - влагоотделители, регуляторы давления и маслораспылители.

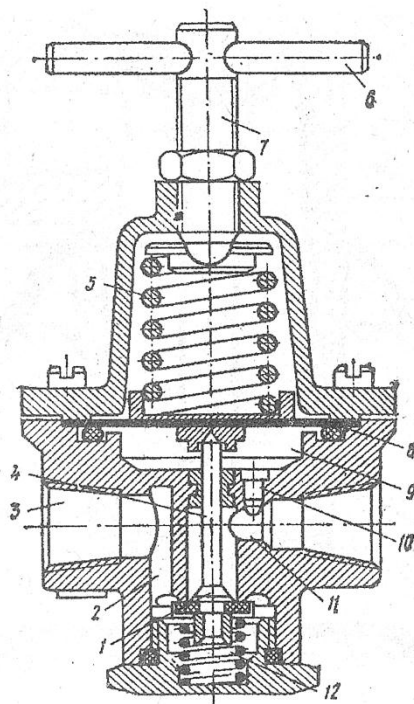
Фильтры - влагоотделители (рис. 4.11) предназначены для отделения от сжатого воздуха твердых частиц размером 0,05 мм и более, воды и компрессорного масла.

Если в воздухопроводной сети повышенная влажность воздуха, то используют отделители с большой емкостью резервуара для конденсата. При этом уровень конденсата не должен подниматься выше заслонки.



1 – запорный клапан; 2 – заслонка; 3 – фильтр; 4 – стакан; 5 – отражатель  
**Рисунок 4.11 – Фильтр – влагоотделитель**

Регуляторы давления (рис. 4.12) служат для снижения давления сжатого воздуха и автоматической поддержки его на заданном уровне.



1 - Запорный клапан; 2,9 – полости; 3,10,11 – отверстия; 4 - толкатель;  
 5 - пружина мембраны; 6 – рукоятка; 7 - регулировочный винт;  
 8 - мембрана, 12 - пружина клапана  
**Рисунок 4.12 - Регулятор давления**



Необходимое давление на выходе регулятора устанавливается регулировочным винтом 7 по отметке манометра.

Маслораспылители предназначены для внесения в сжатый воздух распыленного масла для смазывания поверхностей пневмодвигателя.

### **1.7 Контрольные вопросы**

- 1 Какие типы, сверл используются для обработки дерева?
- 2 Назовите основные параметры спирального сверла для обработки стали?
- 3 Строение и принцип действия трехкулачкового сверлильного патрона?
- 4 Как определяется угол заточки спирального сверла?
- 5 Какой инструмент используется при сверлении отверстий в бетонных и кирпичных конструкциях?
- 6 Какие параметры характеризуют работоспособность шлифовального круга?
- 7 Какие формы шлифовальных кругов используются при обработке металлической поверхности?
- 8 Как проводится статическая балансировка шлифовального круга?
- 9 Назовите основные параметры дисковой пилы?
- 10 Какой материал используется для изготовления пик и зубил, применяемых при обработке бетона и металла?
- 11 С каких основных частей состоит компрессор для питания ручных пневматических машин?
- 12 Какими приборами и устройствами оборудуются компрессорные установки для обслуживания ручных пневматических машин?

## Лекция №5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РУЧНЫЕ МАШИНЫ

### 5.1 Общие сведения и классификация

Ручные машины с электрическим приводом применяют при выполнении строительных и монтажных работ, что обусловлено их высокой энергооснащенностью, небольшими размерами, высоким КПД (0,4...0,6) [4]. Эксплуатационные затраты для таких машин в 6-8 раз меньше, чем для пневматических.

Электрическая ручная машина - это электро-, вибро- и шумобезопасный переносной агрегат, состоящий из корпуса и встроенных в него электропривода, передаточного механизма, рабочего органа, пусковой аппаратуры и кабеля, соединяющего ручную машину с источником питания.

Отечественные ручные машины по степени защиты от поражения током выпускают трех классов:

I класс - все детали, находящиеся под напряжением, изолированы, штепсельные вилки имеют заземляющий контакт. Все детали машины, находящиеся под напряжением, должны иметь соответствующую рабочую изоляцию, а отдельные - двойную или усиленную. Машины такого класса населению не реализуют, их можно использовать на производстве с обязательным заземляющим устройством.

II класс - все детали, находящиеся под напряжением, имеют двойную или усиленную изоляцию. Эти машины (до 70% от общего производства) не имеют устройств для заземления и обозначаются специальным знаком (см. рис.2.1). Машины I и II классов выпускают на номинальное напряжение до 220 В при постоянном токе и до 380 В - при переменном.

III класс - рассчитаны на номинальное напряжение до 42 В, питающихся от автономного источника тока или общей сети через трансформатор или преобразователь частоты, напряжение холостого хода которых не должны превышать 50 В, а второстепенная ветвь не должна быть соединена с землей. Такие машины имеют сплошной пластиковый корпус и не содержат, кроме рабочего, внешних металлических частей. Оператор надежно защищен от поражения током при повреждении рабочей изоляции привода машины и попадания рабочего органа в токонесущие элементы.

Классификация ручных электрических машин приведена на рис. 5.1.

По типу привода ручные электрические машины могут быть [2, 4]:

- электромеханические - с двигателем вращательного действия, движение которого передается рабочему органу (инструменту) через передаточное устройство (редуктор, кривошипно-шатунный механизм и др.);

- компрессионно-вакуумные, в которых передача энергии на рабочий орган происходит ударником (бойком), пневматически связанным с промежуточным преобразовательным механизмом;

- электромагнитные - с линейным электромагнитным двигателем возвратно-поступательного движения, который непосредственно приводит в действие рабочий инструмент.

В ручных электрических машинах применяют однофазные коллекторные двигатели типа КНД (частота сети 50 Гц, полезная мощность 120...850 Вт) и одно-и трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (типа 4А и др.), полезной мощностью 120 ... 750 Вт с питанием от сети переменного тока нормальной (50 Гц) и повышенной (200 Гц) частот (типа АП).

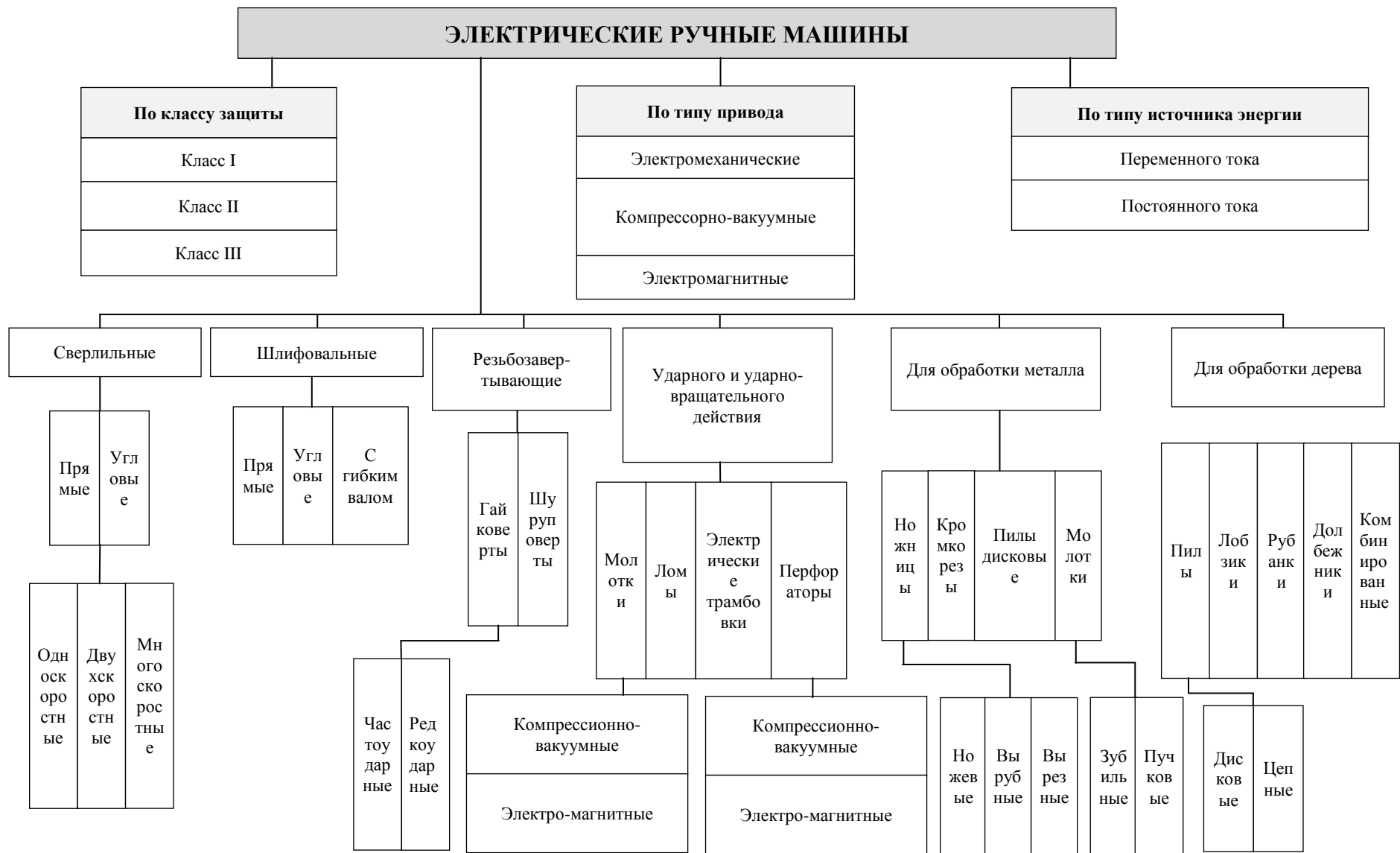
Ручные машины с однофазными коллекторными двигателями составляют почти две трети общего количества электродвигателей, выпускаемых для машин данного класса. Их *преимущества* следующие:

- высокие пусковые моменты и удельная мощность;
- мягкая внешняя характеристика, которая позволяет машине выдержать кратковременные перегрузки;
- нечувствительность к колебаниям напряжения в электросети и невысокие пусковые токи (до  $4I_{ном}$ );
- большая частота вращения при малых габаритных размерах и массе.

К *недостаткам* следует отнести:

- сложность конструкции, изготовления и эксплуатации;
- высокая стоимость и недостаточная надежность;
- создание радиопомех через искрение от коммутации тока на коллекторе.

Ручные машины с однофазными коллекторными двигателями пригодны для нестационарных условий работы, их можно подключать к сети однофазного тока. Они имеют двойную изоляцию для защиты оператора от поражения током при пробивке или повреждении рабочей изоляции. В этих машинах корпус и ручка изготовлены из пластмассы и армированные алюминием, а вал якоря электродвигателя изолирован пластмассовой втулкой. Для уменьшения радиопомех они оснащены глушительными устройствами. Осваивается производство ручных электрических машин на базе облегченных высокоскоростных коллекторных двигателей с номинальной частотой вращения 15 000...20 000 об/мин.[2].



*Рисунок 5.1 – Классификация электрических ручных машин*

В последнее время получили развитие ручные машины на базе коллекторных двигателей постоянного тока с источником питания от малогабаритных, аккумуляторных батарей, которые встроены в корпус или рукоятку машины. В приводах ручных машин с коллекторными двигателями все чаще используется электронная регулировка частоты вращения вала ротора, что позволяет увеличить их производительность за счет оптимального режима работы двигателя.

Асинхронные трехфазные электродвигатели нормальной частоты с короткозамкнутым ротором имеют простую и надежную конструкцию, высокую перегрузочную способность, простые в изготовлении и эксплуатации, однако у них повышены габаритные размеры и масса, а также низкая удельная мощность.

Трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором повышенной частоты (200 Гц) типа АП сравнительно просты в изготовлении, выносливы и надежны в работе, отличаются высокой удельной мощностью и невысокой стоимостью. Эти положительные качества способствуют их широкому применению при приведении в действие ручных машин. К недостаткам таких двигателей относятся: невысокая способность к перегрузкам; чувствительность к колебаниям напряжения в сети; перегрева и уменьшению срока эксплуатации при работе в режиме с частыми пусками; потребность в преобразователях частоты.

Ручные машины с трехфазными асинхронными электродвигателями подключаются к сети переменного тока нормальной частоты (50 Гц) напряжением 220/380В через промежуточные агрегаты: с двигателями типа АН - через понижающий трансформатор, с двигателями типа АП - через преобразователь частоты, который выполняет также функции понижающего трансформатора. Поэтому ручные машины с высокочастотными электродвигателями целесообразно использовать в стационарных условиях работы.

Линейные электромагнитные двигатели возвратно-поступательного действия приводят в движение рабочие органы машины напрямую, без дополнительных механических передач. Однако их низкий КПД приводит к нагреву машины и требует интенсивного охлаждения.

Для защиты от поражения электрическим током при работе с электрическими ручными машинами в случае прямого однофазового прикосновения токонесущих частей или замыкания на землю со стороны потребителя используют защитные приборы ИЭ-9813; ИЭ-9814.

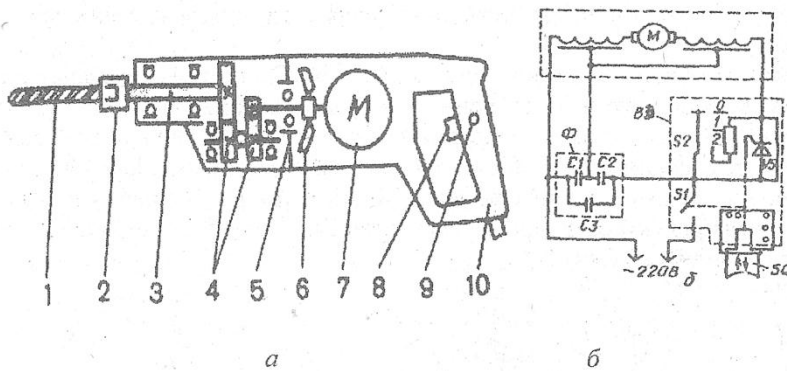
При производстве ручных электрических машин используется широкая унификация узлов и деталей, которые при выходе из строя могут быть легко заменены.

## **1.8 Электрические сверлильные машины**

Сверлильные машины используются для сверления отверстий диаметром 6...32мм в различных материалах (в металле, пластмассе, дереве, бетоне, железобетоне, кирпиче, гипсолитовых и асбоцементных плитах и других материалах).

Отечественная промышленность производит прямые и угловые сверлильные ручные машины с однофазными коллекторными электродвигателями II класса защиты и трехфазными асинхронными электродвигателями III класса защиты. Они имеют единую принципиальную схему, но отличаются диаметром сверла, конструктивным оформлением, габаритными размерами, массой, частотой вращения шпинделя (сверла), типом, мощностью и частотой вращения двигателя (см. рис. 1.1, а, б, в). При работе таких машин к сверлу следует прилагать осевое усилие подачи, а включение и выключение осуществляется нажатием на кнопку.

Сверлильные ручные машины выпускают одно-, двух- и многоскоростными с электронной регулировкой частоты вращения шпинделя. Кинематическая схема и схема электронного управления такой машины приведены на рис. 5.2.



1-рабочий инструмент; 2 – патрон; 3 – шпиндель; 4 - редуктор;  
 5 – подшипники; 6 – вентилятор; 7 – электродвигатель; 8 - выключатель;  
 9 – фиксатор; 10 – рукоятка

**Рисунок 5.2 - Кинематическая схема (а) и схема электронного управления (б) сверлильной ручной машиной**

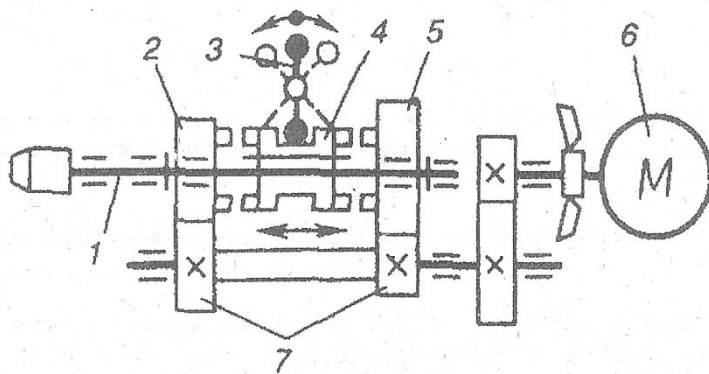
Сверлильная ручная машина (рис. 5.2, а) состоит из электродвигателя 7 с вентилятором 6 и двухступенчатого цилиндрического косозубого редуктора 4, встроенных в корпус, шпинделя 3 с внешним или внутренним конусом для крепления патрона 2 или сменных рабочих органов, рукоятки 10, в которой смонтированы курковой выключатель (кнопка) 8 с фиксатором 9 рабочего положения и фильтра, который поглощает радиопомехи, и кабеля для подключения к электросети.

Машины для сверл диаметром до 9 мм изготавливают пистолетного типа (см. рис. 1.1, а). Машины для сверл диаметром 14 мм комплектуются специальным съемным патроном. Патрон устанавливается на рабочий хвостовик шпинделя, который выполнен в виде усеченного внешнего конуса Морзе. Сверла диаметром более 14 мм устанавливают непосредственно в шпинделе сверлильной ручной машины, который имеет внутренний конус Морзе.

Сверлильные ручные машины для сверл диаметром до 14 мм (см. рис. 1.1, б) имеют заднюю рукоятку замкнутого типа и оснащаются вспомогательной съемной боковой рукояткой для восприятия оператором реактивного момента, который появляется при работе машины. Более мощные машины (для сверл диаметром до 32 мм) с большим крутящим моментом имеют на корпусе две боковые рукоятки и грудной упор (см. рис. 1.1, в) для создания вспомогательного осевого давления на сверло.

Сверлильные машины на базе трехфазных асинхронных электродвигателей повышенной частоты (до 200 Гц) односкоростные и предназначены для сверления отверстий диаметром 6...23 мм. Они питаются от переносных преобразователей частоты тока или от специальной сети трехфазного переменного тока. Они, как правило, используются в стационарных условиях.

Изменения частоты вращения шпинделя в двухскоростных сверлильных машинах можно достичь как изменением основных параметров самого электродвигателя (числа пар полюсов, изменение частоты тока питающей сети, скольжения, введением дополнительного сопротивления в звено якоря, изменением схемы подключения двигателя к электросети и т. п.), так и изменением передаточного числа редуктора с помощью механизма переключения скорости (коробки скоростей) (рис. 5.3).



1 – шпиндель; 2,5 – шестерни; 3 - переключатель скорости;  
4 - кулачковая втулка; 6 – двигатель; 7 - блок шестерен  
**Рисунок 5.3 - Схема скоростной сверлильной машины**

Составной частью этого механизма является кулачковая втулка 4, которая соединяется с помощью переключателя скорости 3 с шестернями 2 и 5, которые свободно вращаются на шпинделе 1. При этом обеспечивается попеременное зацепление кулачков втулки с одной из шестерен 2 или 5, которые находятся в постоянном зацеплении с блоком шестерен 7. На корпусе расположены основная и вспомогательная рукоятки. В основную рукоятку встроены выключатель электродвигателя и устройство для подавления радиопомех.

Сверлильные машины с электронным регулированием частоты вращения шпинделя (ВЕ) (см. рис.5.2, б) на обозначении имеет индекс (Е) (после цифровой части). Блок электронного регулирования частоты вращения шпинделя, который размещается в рукоятке машины, позволяет бесступенчатое регулирование частоты вращения в одном или двух диапазонах. Он уменьшает частоту вращения шпинделя на холостом ходу и соответственно уменьшает создаваемые машиной шум и вибрацию [4].

В этих машинах в качестве привода используется электродвигатель постоянного тока с последовательным возбуждением. Питание от сети подается через резистор на обмотки двигателя М. Частота вращения вала двигателя определяется временем открытого состояния тиристора, в зависимости от положения ручки переключателя S2 (1 или 2) двигатель будет работать в двух диапазонах - соответственно, с пониженной или повышенной частотами вращения. Кроме того, частота вращения вала двигателя плавно регулируется перемещением ползуна потенциометра R с помощью кнопки SQ. Защита от радиопомех, возникающих вследствие искрения щеток на коллекторе, происходит с помощью фильтра Ф, подключенного параллельно к сети.

Электронное регулирование обеспечивает оптимальный технологический режим работы машины за счет установки требуемой частоты вращения шпинделя, что повышает надежность инструмента и основных узлов машины.

Комплект сменных насадок к сверлильным ручным машинам позволяет значительно расширить технологические возможности сверления. Например, насадка с конической зубчатой передачей превращает прямую сверлильную машину в торцевую шлифовальную машину (см. рис 1.1, е).

## 1.9 Электрические шлифовальные машины

Электрические шлифовальные машины используют для выполнения технологических операций при монтаже металлических конструкций, на сварных, отделочных, электромонтажных, арматурных и других работах. По характеру движения рабочего органа различают вращательные и плоскошлифовальные машины. Рабочим органом вращательных шлифовальных машин являются абразивные круги разных геометрических

форм и диаметров (см. табл. 4.2). В плоскошлифовальных машинах рабочим органом является одна или две платформы с шлифовальной шкуркой, осуществляющих вращательное или плоско-параллельное движение относительно обрабатываемой поверхности.

Главным параметром вращательных шлифовальных машин является диаметр абразивного круга. Вращательные шлифовальные машины изготавливаются прямыми и угловыми (рис. 1.1, *д, е, ж*) с шлифовальными кругами диаметром, соответственно, 40, 63, 80, 100, 125, 160 и 80, 125, 150, 180, 220 мм [4] и частотой вращения круга 43...113 с<sup>-1</sup>. Машины с гибким валом (см. рис 1.1, *з*) и шлифовальным кругом диаметром 200 мм имеют частоту вращения 48,6 с<sup>-1</sup> [2]. На каждом шлифовальном круге указана предельно - допустимая частота вращения шпинделя. Чтобы предотвратить разрушение абразивного круга, недопустимо превышение частоты вращения шпинделя по отношению к частоте, указанной на этикетке круга. Их правильный выбор определяет производительность шлифовальных машин и качество обработки поверхности.

Асинхронные электродвигатели имеют жесткую внешнюю характеристику, поэтому на холостом ходу и под нагрузкой у них практически одинаковая частота вращения. В коллекторных двигателях внешняя характеристика мягкая, поэтому под нагрузкой частота вращения в 1,5...2 раза меньше, чем при холостом ходу. В машинах с асинхронным электродвигателем шлифование происходит при максимальной для данного круга рабочей скорости, соответственно они обеспечивают выше производительность, чем машины с коллекторными двигателями.

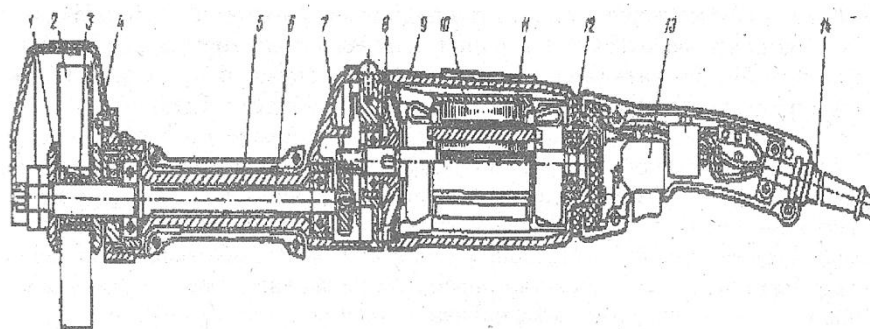
В современных шлифовальных машинах с однофазными коллекторными двигателями устанавливают электронную регулировочную автоматику, которая обеспечивает частоту вращения шлифовального круга практически неизменной на холостом ходу и под нагрузкой.

Прямые шлифовальные машины (рис. 1.1, *д*), в которых оси рабочего органа параллельны или совпадают, используют для зачистки металлоконструкций от коррозии, зачистки сварных швов, чугунного и стального литья, шлифования различных металлических поверхностей, подготовки фасок под сварку и других работ.

Угловые шлифовальные машины (рис. 1.1, *е, ж*), в которых оси рабочего органа и привода расположены под углом 90 °, предназначены для шлифовки поверхности металлических изделий и строительных конструкций, очистки металлоконструкций от коррозии в труднодоступных местах, отделки бетонных и мозаичных поверхностей, а также для резки труб, листового металла, профильной и угловой стали.

Прямая шлифовальная машина (рис 5.4) независимо от конструктивного исполнения и мощности состоит из шпинделя *б*, на котором с помощью фланца *1* и цанги *3* закреплен абразивный круг, защитного конуса *4*, цилиндрического одноступенчатого редуктора *7*, корпуса *5*, вентилятора охлаждения *8*, корпуса электродвигателя *9*, который имеет статор *10* и ротор *11*, амортизаторов *12*, кнопочного выключателя *13* и токопроводящего кабеля *14*.





1 – фланец; 2 – шлифовальный круг; 3 – цанга; 4 – защитный кожух; 5 – корпус; 6 – шпиндель; 7 – редуктор; 8 – вентилятор; 9 – корпус электродвигателя; 10 – статор; 11 – ротор; 12 – амортизатор; 13 – выключатель; 14 – токопроводящий кабель

Рисунок 5.4 – Кинематическая схема прямой шлифовальной машины

Частота вращения шпинделя должна соответствовать частоте, указанной на этикетке круга. Во избежание несчастных случаев, круг балансируют и испытывают на прочность перед установкой на машину. Категорически запрещено ставить абразивные круги на машину, если частота вращения шпинделя выше, чем частота, указанная на этикетке круга.

Прямые шлифовальные машины комплектуются плоскими шлифовальными кругами прямого профиля типа ПП и плоскими кругами с выточкой типа ПВ.

Угловые шлифовальные машины одинаковы по конструкции и отличаются от прямых типом редуктора (редуктор конический) наличием боковой виброизолированной (с помощью резиновых амортизаторов) рукоятки на корпусе редуктора и типом шлифовального круга.

Угловые машины комплектуются чашечными цилиндрическими кругами типа ЧЦ и чашечными коническими кругами типа ЧК, которые предназначены для шлифования и зачистных работ. В комплект также входят круги типа 2П, предназначенные для шлифовки резьбы и заточки многолезвийных инструментов и круги типа Д для резки металла. Рабочая скорость кругов 40 м/с, частота вращения шпинделя  $55 \dots 65 \text{ с}^{-1}$  [2].

Шлифовальные машины с гибким валом (см. рис. 1.1, ж) применяются для шлифовки и полировки различных поверхностей (металлических, цементных, гранитных, мраморных), зачистки сварных швов, подгонки деталей при сборке, а также очистки металлических конструкций от коррозии. Эти машины III класса защиты состоят из переносного асинхронного электродвигателя, смонтированного на специальной подставке, гибкого вала и шлифовальной головки. Машины комплектуются двумя сменными шлифовальными головками - прямой для плоских шлифовальных кругов типа ПП и ГВ и угловой для чашечных кругов типа ЧЦ и ЧК.

Шлифовальные машины с однофазным коллекторным двигателем запрещено применять для работы в взрывоопасной и химически активной среде, которая разрушает металл и изоляцию. Запрещается эксплуатировать все электрические шлифовальные машины в условиях воздействия капель, брызг, на открытых площадках во время дождя и снегопада.

## 1.10 Электрические резьбовозавертывающие машины

К этому классу машин относятся гайко- и шуруповерты, предназначенные для механического соединения, затяжки и разборки резьбовых соединений при монтаже и

демонтаже строительных конструкций и оборудования. Они отличаются портативностью, маневренностью, невысокой стоимостью и небольшими затратами при эксплуатации. Применение этих машин повышает производительность в 4...10 раз по сравнению с ручным трудом [4].

Рабочим органом гайковертов является сменный наконечник с внутренним шестигранником (ключом), который накидывают на гайку или на головку болта. Ключ соединяется со шпинделем, в основном, крепко, а для работ в стесненных условиях - шарнирно. Затягивание нарезного соединения происходит при передачи ключу ударных импульсов от ударного механизма машины с определенной энергией и частотой. Главный параметр этих машин - энергия удара, а основные - частота ударов и рекомендуемый диапазон диаметров резьбы.

Энергия удара составляет [4]:

$$E_y = \frac{I\omega_6^2 I_6 \eta_y}{2(1 + \frac{I_H}{I_6})}, \quad (5.1)$$

где  $E_y$  - энергия удара, Дж;

$\omega_6$  - угловая скорость ударника перед ударом, рад/с;

$I_6$  - момент инерции ударника, кг·м<sup>2</sup>;

$I_H$  - момент инерции наковальни, кг·м<sup>2</sup>;

$\eta_y$  - коэффициент передачи удара,  $\eta_y = 0,70 \dots 0,75$ .

В зависимости от реализуемой частоты ударов различают частоударные (20...40 уд/с) и редкоударные (до 3 уд/с) гайковерты.

Частоударные гайковерты (см. рис. 1.1, *и*) предназначены для закручивания и затягивание неотчетственных резьбовых соединений. В этих машинах применяют традиционную схему ударного механизма с винтовым перемещением ударника, а контроль затяжки производится оператором субъективно по времени затягивания или с помощью динамометрического ключа.

Частоударные гайковерты унифицированы, имеют единую конструктивную схему и отличаются друг от друга размерами ключей, типом и конструкцией приводного двигателя. Они предназначаются для затяжки резьбовых соединений диаметром до 20 мм и развивают момент затяжки до 125...320 Нм [2].

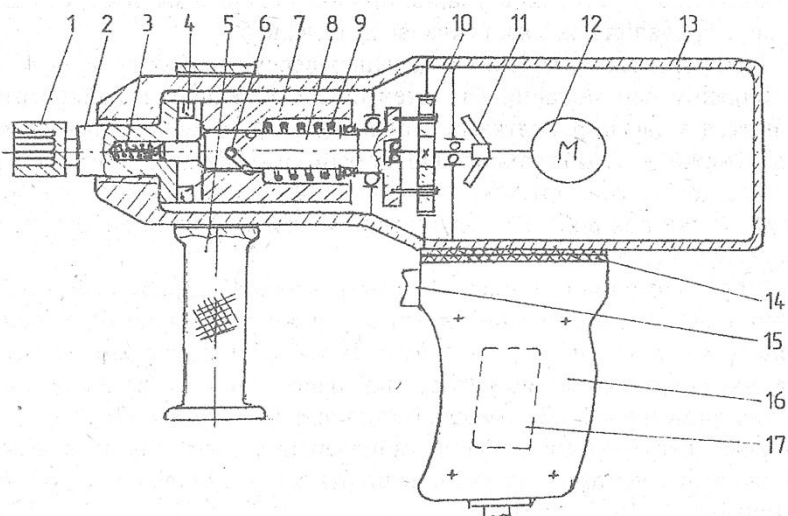
Частоударный гайковерт (рис. 5.5) состоит из корпуса 13 электродвигателя 12 с вентилятором 11, планетарного одноступенчатого редуктора 10, ударно-вращательного механизма 7, виброизолированной основной рукоятки 16 с встроенным выключателем 15 и устройством для подавления радиопомех 17 и вспомогательной съемной рукоятки 5.

Вращение от электродвигателя 12 через планетарный редуктор 10 передается приводному 8 ударно-вращательному механизму. Вал соединяется с подпружиненным ударником 7 с помощью двух шариков 6, которые находятся в винтовых канавках обеих деталей.

На торцевой поверхности ударника симметрично расположены два кулачка 4, которые входят в зацепление с кулачками шпинделя 2 под действием рабочих пружин 3, 9. На квадратном хвостовике шпинделя закрепляются сменные головки 1. При отсутствии осевой нагрузки на шпиндель сменные головки не будут вращаться даже при включенном электродвигателе.

Сначала завинчивания гайки (болта), когда момент, развиваемый гайковертом, расходуется только на преодоление сил трения в нарезной паре, кулачки ударника 7 находятся в постоянном зацеплении с кулачками шпинделя 2 и обеспечивают его непрерывное вращение. При росте сопротивления на ключе (при достижении торцом гайки неподвижной поверхности), т.е. его стопорения, ударник перемещается по винтовым канавкам относительно вала 8 и сжимает пружину 9 до тех пор, когда его

кулачки не выйдут из зацепления с кулачками шпинделя. Затем ударник, ускоренно под действием пружины, возвращается в исходное положение. При свободном поступательном движении вдоль оси вала с винтовыми канавками ударник приобретает определенную угловую скорость и, догоняя кулачки шпинделя, наносит по ним удар, в результате чего происходит затяжка резьбового соединения.



- 1 - съемная головка; 2 - шпиндель; 3, 9 - пружина; 4 - кулачки;  
 5 - вспомогательная рукоятка; 6 - шарики; 7 - ударник; 8 - приводной вал;  
 10 - планетарный редуктор; 11 - вентилятор; 12 - электродвигатель;  
 13 - корпус; 14 - упругие прокладки; 15 - выключатель; 16 - основная рукоятка;  
 17 - устройство для подавления радиопомех

**Рисунок 5.5 - Кинематическая схема электрического частотударного гайковерта**

Удары наносятся периодически до выключения двигателя. Процесс затяжки выполняется за 110...200 ударов, причем энергия изменяется от удара до удара. Продолжительность затяжки составляет не более 5 с.

При разборке резьбовых соединений реверсируют работу двигателя гайковерта путем переключения фаз штепсельного соединения. Гайковерты поставляются с двумя рукоятками - основной 16 с встроенным выключателем 15 и вспомогательной 5. Для защиты от вибрации рукоятки соединяются с корпусом 13 за счет упругих прокладок 14. Во время работы контроль момента затяжки при работе с частотударными гайковертами выполняется оператором субъективно.

Для получения правильной затяжки необходимо иметь определенный вращательный момент, соответствующий каждому диаметру и марки стали болта или шпильки, которые подвергаются растяжению. В табл. 5.1 приведены расчетные значения вращательных моментов, которые необходимы для затяжки резьбовых соединений диаметром 3...24 мм для болтов из стали марок Ст3, Ст5 и сталь 35[13]. Поэтому некоторые модели ударных гайковертов оснащаются специальными предохранительными муфтами, которые устанавливают между шпинделем и рабочим инструментом.

Таблица 5.1 - Расчетные значения вращательных моментов (Нм), которые необходимы для затяжки нарезных соединений

Диаметр резьбы болта (шпильки), мм	Марка стали болтов (шпилек)		
	Ст3	Ст5	Сталь 35
3	0,4	0,6	0,8
4	0,9	1,3	1,8
5	1,8	2,3	3,4
6	2,2	3,0	4,0
8	5,1	7,5	9,5
10	10,1	13,9	19,0
12	18,1	24,8	34,0
14	27,4	37,6	52,0
16	44,0	60,5	84,0
18	62,0	80,5	116,0
20	84,8	116,5	190,0
22	118,0	162,0	226,0
24	143,0	196,0	270,0

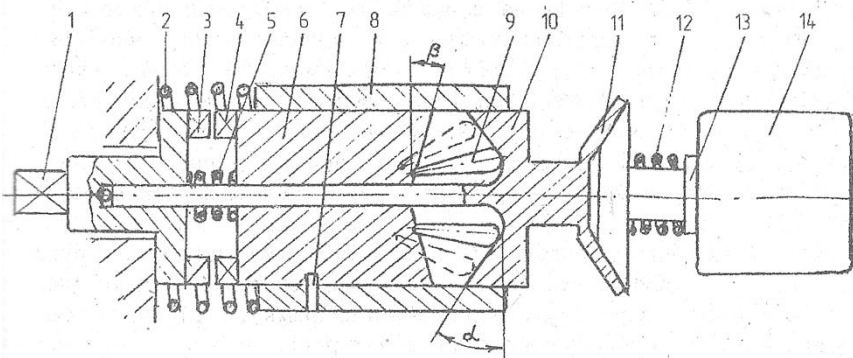
Частоударные гайковерты применяют для сборки соединений с наибольшим диаметром резьбы 12...22 мм, они развивают момент затяжки 125...250 Нм при частоте вращения шпинделя 16...19 с<sup>-1</sup> и потребляемой мощности 270...390 Вт, масса машины 3,5...4 кг [2].

**Редкоударные гайковерты** для тарировочного (до указанного момента) затягивания соответствующих резьбовых соединений и высокопрочных болтов диаметром 18...48 мм нечастыми мощными ударами одинаковой энергии, в 15...25 раз превышающей энергию одиночного удара частоударной машины [4].

За счет увеличения времени разгона бойка и больших промежутков между ударами редкоударные гайковерты, по сравнению с частоударными аналогичного класса, без снижения эффективности имеют меньшую на 15...30% мощность двигателя, меньшие на 20...40% габаритные размеры и массу машины, больший в 2...3 раза КПД, пониженный уровень шума и практически вибробезопасные.

Низкая частота и стабильность энергии ударов позволяют контролировать усилие затяжки простым отсчетом количества ударов.

Редкоударные гайковерты отличаются от частоударных конструкцией и принципом действия ударно-вращательного механизма. Редкоударные гайковерты (рис.5.6) состоят из корпуса, в котором располагается электродвигатель 14 с вентилятором и устройством для подавления радиопомех, редуктор 13, ударно-вращательный механизм, предохранительная муфта 11, основной рукоятки со встроенным выключателем и переключателем направления вращения шпинделя и вспомогательной рукоятки.



1 – наковальня; 2, 5, 12 – пружины; 3, 4 – кулачки; 6, 8 – ведомые части ударника; 7 – фиксатор; 9 – центробежные грузы; 10 – ударник; 11 – предохранительная муфта; 13 – редуктор; 14 – электродвигатель

**Рисунок 5.6 - Кинематическая схема электрического редкоударного гайковерта**

Основным элементом, ударно-вращательного механизма является ударник, который состоит из ведущей 1 и ведомых частей 6, 8, которые под действием пружин 2, 5 могут перемещаться друг относительно друга. Движение ударнику передается от электродвигателя 14 через редуктор 13 и предохранительную муфту 11, которая обеспечивает постоянное значение момента при разгоне ударника.

По мере достижения ударником 6 заданной угловой скорости грузы 9 под действием центробежных сил смещаются от центра наклонными коническими поверхностями ( $\alpha > \beta$ ) частей ударников 10 и 6, вызывая перемещение подвижной части в осевом направлении и сжатия пружин 2 и 5.

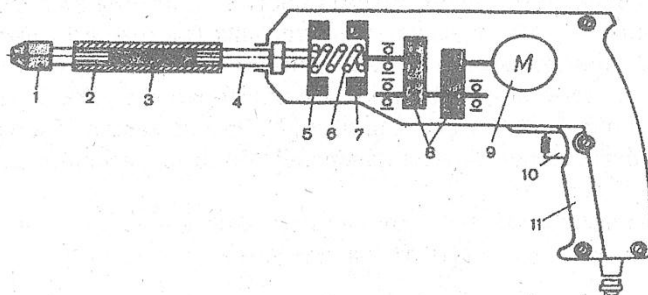
Одновременно начинает действовать синхронизирующий механизм-фиксатор 7, который в взаимно ориентировочном положении кулачков 3 и 4 отделяет ведомые части ударника 6 и 8. Под действием пружины 2 ведомая часть 8 ударника смещается в обратном направлении, а ведомая часть 6 с кулачками продолжает двигаться к шпинделю, пока не будет обеспечено зацепление кулачков 3 и 4 - на всю высоту, что повышает надежность и долговечность гайковерта. Происходит удар, при котором кинетическая энергия вращательного ударника передается наковальне 13 и закрепленному на ней ключу. Тогда ведомые части ударника под действием пружин 2 и 5, а также центробежные грузы 9, возвращаются в исходное положение. После этого цикл затягивания повторяется. Направление вращения шпинделя устанавливается переключателем.

Процесс затягивания выполняется 4...15 ударами. Оператор отключает гайковерт при отсчете необходимого количества ударов.

**Электрические шуруповерты** (см.рис. 1.1 к) предназначены для завинчивания шурупов, винтов, болтов и гаек с диаметром резьбы до 6 мм при выполнении крепежных операций на сборочных и отделочных работах - монтаж внутренних перегородок зданий, подвесных потолков, мебели и др. Главным параметром шуруповертов является максимальный момент затяжки (Нм) и время выполнения операции (с). Шуруповерты развивают момент затяжки 10...15 Нм [2], имеют единую конструктивную схему, максимально унифицированные и состоят из реверсивного электродвигателя 9 (рис. 5.7) типа АП или КНД с переключением на правое или левое вращение ротора, одно-или двухступенчатого цилиндрического редуктора 8, шпиндельного узла, сменного рабочего инструмента 1, пластмассового или алюминиевого корпуса и рукоятки 11 с кнопочным выключателем 10 и переключателем реверса электродвигателя.

Переключатель реверса служит для изменения направления вращения вала электродвигателя при вывинчивания винтов и шурупов. Сменный рабочий инструмент шуруповертов - плоская отвертка с прямолинейным шлицем в головке, крестовая отвертка для завинчивания (развинчивания) самосверлильных и самонарезных винтов и головка-

ключ для болтов и гаек малых диаметров. Для удобства работы при завинчивании винтов и шурупов плоская отвертка оснащается ловителем. Крепление инструмента обеспечивается замком.



1 - сменный рабочий инструмент; 2 – втулка; 3 - стержневой магнит;  
4 - шпиндель; 5 - ведомая полумуфта; 6 – пружина; 7 - ведущая полумуфта; 8 –  
редуктор; 9 – электродвигатель; 10 -кнопочный выключатель; 11 - рукоятка

**Рисунок 5.7 - Кинематическая схема электрического шуруповерта**

Шпиндельный узел состоит из кулачковой муфты и постоянного стержневого магнита 3, который размещается в немагнитной бронзовой втулке 2. С другой стороны располагается отвертка и упор для регулирования глубины завинчивания винтов и шурупов. Магнитное поле стержневого магнита удерживает винт на отвертке.

Кулачковая муфта состоит из двух полумуфт - ведущей 7 и ведомой 5. В нерабочем состоянии муфта выключена - обе ее полумуфты разъединены пружиной 6. Включение муфты производится нажатием на рабочий инструмент в осевом направлении, в результате чего полумуфты зацепляются, а шпиндель 4 вместе с инструментом начинает вращаться. В начальный момент завинчивания, когда момент, создаваемый шуруповертом, расходуется только на преодоление трения в нарезной паре, кулачки полумуфт находятся в постоянном зацеплении и обеспечивают непрерывное вращение шпинделя. При достижении на шпинделе определенного момента затяжки между обоими полумуфтами создается осевое усилие, которое превосходит усилие пружины 6 и автоматически выводит ведомую полумуфту из зацепления. При этом ведущая полумуфта продолжает вращаться и наносит удары кулачкам ведомой полумуфты, создавая при этом дополнительный вращательный момент на шпинделе. Такое строение кулачковой муфты предохраняет электродвигатель от перегрузок машины и предотвращает срывание резьбы на винте.

Шуруповерты могут иметь бесступенчатое электронное регулирование частоты вращения электродвигателя, а также регулирование момента, что развивает шпиндель. Это позволяет выбирать оптимальный режим работы машины при завинчивании винтов и шурупов разного диаметра и длины в материал различной прочности.

При выполнении больших объемов работ по креплению с помощью самосверлильных - самонарезающих шурупов используют шуруповерты- автомата с сменной кассетой и электронным бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя, производительность которых в 2,5...3 раза больше, чем в обычных безкасетных машинах [2]. Сменная кассета вмещает 100...150 шурупов, которые закрепляются на бумажной или пластмассовой ленте, завернутой в рулон.

Шуруповерты обеспечивают момент затяжки 10...15 Нм при мощности двигателя 0,32...0,42 кВт, продолжительность затяжки 3...5 с [2].

## 1.11 Электрические машины ударного и ударно-вращательного действия

К машинам ударного действия относятся молотки, ломы и трамбовки (см. рис. 1.1, л, о, п, р), а к машинам ударно-вращательного действия - перфораторы (см. рис. 1.1, м). Эти машины используют при выполнении строительного-монтажных, ремонтных, санитарно-технических, отделочных, электромонтажных, дорожных и других работ.

Современные машины ударного и вращательного действия вибро-, шумо- и электробезопасные. Они выпускаются, как правило, II класса защиты с двойной изоляцией.

Основными параметрами этих машин есть энергия одиночного удара (Дж) и частота ударов (Гц) бойка или трамбовочного башмака [2].

Энергия одиночного удара машин ударного действия

$$E = (mg + pS)H\eta, \quad (5.2)$$

а для машин ударно-вращательного (вращательного) действия:

$$E = m \left( gH + \frac{v^2}{2(1-R)} \right) \eta, \quad (5.3)$$

где  $E$  - энергия удара, Дж  $\left( \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} \right)$ ;

$m$  - масса ударной части, кг;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$p$  - давление сжатого воздуха в камере, Па;

$S$  - площадь сечения бойка, м<sup>2</sup>;

$H$  - длина рабочего хода ударной части, м;

$R$  - условный коэффициент восстановления скорости при ударе ( $-1 \leq R \leq 1$ );

$\eta$  - КПД машины.

Частота ударов

$$n = \frac{n_{\text{дв}}}{60 \cdot u_m}, \quad (5.4)$$

где  $n$  - частота ударов, Гц;

$n_{\text{дв}}$  - частота вращения вала двигателя, об/мин;

$u_m$  - передаточное число трансмиссии.

Электрические и электромагнитные машины предназначаются для проламывания отверстий, ниш и проемов и долбление канавок в перекрытиях, кирпичных и бетонных стенах при прокладке кабеля, водопроводных канализационных труб, насечке и очистке каменных, бетонных или кирпичных поверхностей при подготовке их к штукатурке, а также для разрыхления твердых и мерзлых грунтов, слежавшихся, а также при взломе дорожных покрытий, разрушении фундаментов, проведении ремонтных работ на различных коммуникациях.

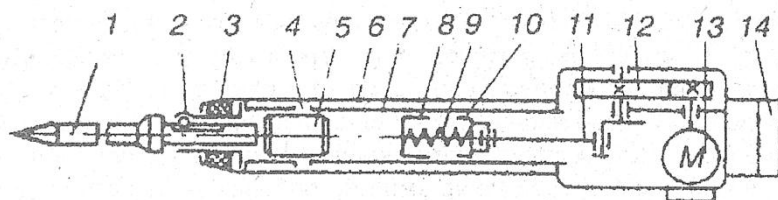
В молотках используется энергия возвратно-поступательного движения бойка (ударника), который наносит с определенной частотой удары по хвостовику рабочего инструмента.

По принципу действия молотки разделяются на электрические (компрессионно-вакуумные) и электромагнитные (фуговальные). В электрических молотках движение бойка обеспечивается последовательной работой поршня и воздушной подушки. В электромагнитном молотке боек движется возвратно-поступательно под действием переменного магнитного поля линейного электромагнитного двигателя.

**Электрические молотки** состоят из электродвигателя с вентилятором, редуктора, кривошипно-шатунного механизма, ствола с компрессионно-вакуумным рабочим

механизмом, сменного инструмента (пики, зубила и др.), основной с кнопочным выключателем и боковой вспомогательной рукояткой и кабеля.

Привод молотка выполняется от однофазного коллекторного электродвигателя 13 (рис.5.8) с двойной изоляцией в пластмассовом корпусе, который выполняется слитно с основной рукояткой 14, в которую вмонтированы кнопочный выключатель с фиксированным рабочим положением и устройство для глушения радиопомех. К корпусу присоединяется дополнительная рукоятка. Ствол 6 и корпус редуктора 12 отлиты из алюминия.



1 - рабочий инструмент; 2 - бокса; 3 - амортизатор; 4 - отверстие для воздуха; 5 - боек; 6 - ствол; 7 - цилиндр; 8 - поршень; 9 - пружины; 10 - ползун; 11 - шатун; 12 - редуктор; 13 - электродвигатель; 14 - рукоятка

**Рисунок 5.8 - Кинематическая схема электрического вакуумного молотка**

Ударный механизм, который размещается в стволе и состоит из цилиндра 7, поршня 8 и бойка 5, приводится в действие от электродвигателя 13 через редуктор 12 и кривошипно-шатунный механизм с шатуном 11. Поршень 8 через пружину 9 соединяется с ползуном 10, который осуществляет обратнопоступательное движение. При перемещении поршня из нижней мертвой точки в полости цилиндра между торцом бойка и поршнем создается разрежение. Боек в начальный момент из-за малой степени разрежения остается на месте. Затем в связи с ростом разности давления в верхней и нижней частях бойка он начинает с нарастающей скоростью перемещаться вверх за поршнем. Поршень замедляет движение, его скорость снижается до нуля, а скорость бойка по инерции продолжает нарастать. При обратном движении поршня воздушная подушка между бойком и поршнем начинает сжиматься, в результате чего скорость бойка уменьшается до нуля, а под действием сжатой воздушной подушки боек с нарастающей скоростью устремляется вниз и наносит удар хвостовику рабочего инструмента. Затем цикл повторяется.

Молоток работает в ударном режиме только при нажатии на рукоятку и рабочий инструмент. При прекращении нажатия хвостовик инструмента и боек выводятся в нижнее положение, а машина автоматически переходит на холостой режим в результате открытия воздушной подушки через отверстие 4 в цилиндре и стволе.

Отечественная промышленность выпускает три модели электрических молотков с энергией удара 1,11 и 25 Дж [2].

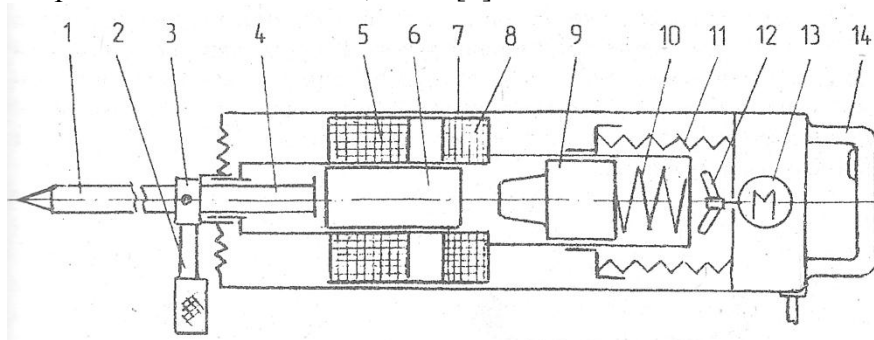
**Электромагнитный молоток** (рис. 5.9) состоит из пластмассового корпуса 7, ударного механизма, узла крепления рабочего инструмента 3 и однофазного электродвигателя 13 с вентилятором 12 для охлаждения машины. В комплект ударного механизма входит магнитопровод, две магнитные катушки прямого 5 и обратного 8 движения, которые получают импульсное питание через диоды в разноименные полупериоды переменного тока, боек 6, который выполняет роль амортизатора при обратном движении бойка.

Ударный механизм подвешивается в корпусе машины на эластичных амортизаторах 11. Амортизатором оснащается также узел крепления инструмента. Комплекс амортизирующих устройств обеспечивает надежную виброзащитенность машины. Корпус молотка имеет две рукоятки - заднюю 14, в которой расположены



выключатель и питающей кабель, и переднюю 2 с устройством для фиксации рабочего инструмента, которое исключает возможность его вылета при ударе. Молоток может иметь набор сменных рабочих инструментов для исполнения различных технологических операций: зубило, пику, шлямбур или трамбовочный башмак.

Энергия удара электромагнитного молотка 4,5 кДж, частота ударов 50 Гц, потребляемая мощность 0,6 кВт [2].



1 – зубило; 2 – вспомогательная рукоятка; 3 – узел крепления рабочего инструмента; 4 – хвостовик; 5, 8 – магнитные катушки прямого и обратного движения; 6 – боек; 7 – корпус; 9 – буфер; 10 – пружина; 11 – амортизатор; 12 – вентилятор; 13 – электродвигатель; 14 – основная рукоятка

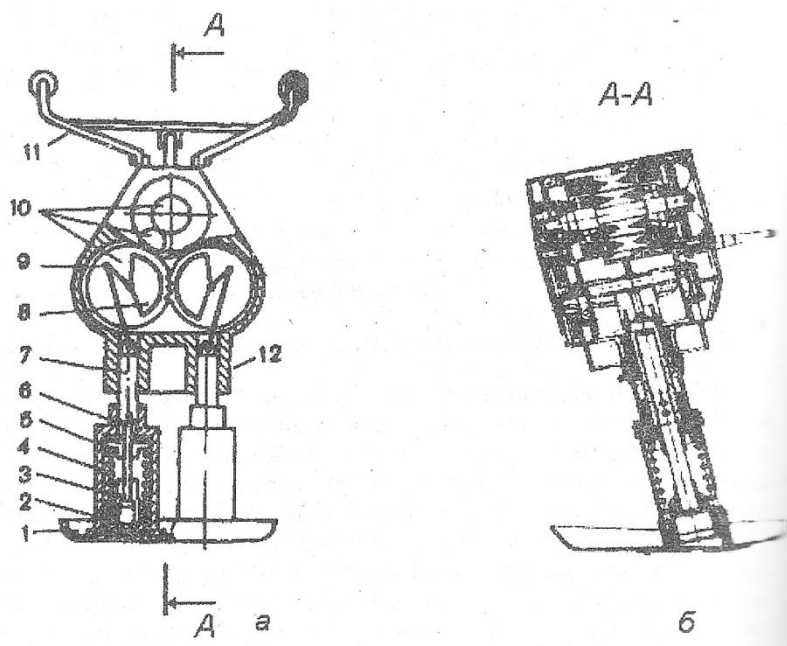
**Рисунок 5.9 - Кинематическая схема электромагнитного молотка**

**Электрические ломы** (см. рис.1.1, л) предназначены для разрушения бетона, железобетона, кирпичной кладки, асфальтобетона, каменной и мерзлой почв. По конструкции они аналогичны электрическим молоткам и отличаются от них только энергией удара и мощностью приводного двигателя. Энергия удара лома не менее 40 Дж, частота ударов 19...20 Гц [2].

Одной из важнейших проблем молотков и ломов является обеспечение вибробезопасности. Основным источником вибрации корпуса есть равнодействующая сил разгона ударника, равная силе отдачи. Виброзащитенность электромагнитных молотков и ломов обеспечивается, в основном, введением в конструкцию машины инерционного преобразователя импульса сил отдачи в качестве «тяжелого» буфера на пружине и ударного узла в корпусе на амортизаторах. Частично сила отдачи гасится воздушной подушкой. Такие машины имеют также локальную виброизоляцию рукояток оператора и демпфер обратного движения рабочего инструмента, который смягчает удары со стороны инструмента на корпус машины.

**Электрические трамбовки** представляют собой маневренные малогабаритные уплотняющие машины (рис.5.10), предназначенные для искусственного уплотнения связанных и несвязанных почв в труднодоступных и стесненных местах (вокруг опор, в пазухах фундаментов, тоннелей коллекторов, трубопроводов и др.), при засыпке траншей после укладки подземных коммуникаций, уплотнении щебня, гравия и бетонной смеси, а также при выполнении грунтовых подсыпок небольшого объема.

Электрическая трамбовка (рис. 5.10, а) состоит из электродвигателя с редуктором 10, кривошипно-шатунных механизмов 9, цилиндров 2 с ступенчатыми штоками 6 и пружинами 4, рабочего органа (трамбовочного башмака) 1 и рукоятки управления 11 с выключателем. Кривошипно-шатунный механизм 9 преобразует вращательное движение вала электродвигателя в возвратно-поступательное движение ползунов 7, пропущенных через отверстия верхней 5 и нижней 3 оправок, между которыми установлены с предварительным натяжением пружины 4. Направляющими для оправок служат два цилиндра 2, закрепленных на трамбовочном башмаке 1.



*а - кинематическая схема; б - поперечный разрез;*  
*1 - рабочий орган; 2 - цилиндр; 3, 5 - нижняя и верхняя оправки;*  
*4 - пружина; 6 - шток; 7 - ползун; 8 - дебаланс; 9 - кривошипно-шатунный механизм;*  
*10 - электродвигатель с редуктором; 11 - рукоятка; 12 - корпус*  
**Рисунок 5.10-Электрическая трамбовка**

При перемещении ступенчатых штоков вверх смещается также положение нижней оправки 3, которая сжимает пружины 4 и влечет за собой трамбовочный башмак. После перехода кривошипами верхней «мертвой» точки ступенчатые штоки движутся вниз. В конце хода башмак бьет по поверхности материала, который необходимо уплотнить. Размах колебаний трамбовочного башмака составляет 0,03 м, частота ударов 7...10 Гц [2].

Трамбовка содержит ударный механизм с динамическим гасителем колебаний. На кривошипных валах закрепляются массивные дебалансы 8, которые взаимоуравновешенные в горизонтальной плоскости. Суммарная центробежная сила дебалансов гасит вибрацию корпуса трамбовки и обеспечивает тем самым вибробезопасность машины. Взаимопротивоположное вращение дебалансов 8, которые расположены под определенным углом к кривошипу, синхронизировано двумя шестернями, постоянно сцепленными между собой.

Для предотвращения переагрузок деталей ударного механизма трамбовки между подвижными оправками и ступенчатыми штоками устанавливаются амортизаторы. Управление электротрамбовкой выполняется с помощью рукоятки 11, которая связана с корпусом 12 шарниром и пружинным амортизатором. Электробезопасность трамбовки обеспечивается использованием защитно-отключающих устройств.

С целью уменьшения усилия прикладываемого оператором до рукояток управления, ось цилиндров 2 электротрамбовки отклоняют от вертикали на некоторый угол (рис.5.10, б), благодаря чему машина имеет возможность перемещаться самостоятельно, то есть для ее передвижения оператор не прилагает никаких усилий, а только задает ей направление движения.

Электротрамбовки подключают к сети переменного тока нормальной частоты (50 Гц) напряжением 220 В. Продуктивность электротрамбовки массой 80 кг составляет 15...20 м<sup>3</sup>/ч при толщине слоя уплотнения грунта 0,3...0,4 м, мощность электродвигателя 1,6 кВт [2].

**Электрические перфораторы** представляют собой универсальные машины многоцелевого назначения, которые используются для прорезания отверстий и проемов в

междуэтажных перекрытиях и перегородках зданий, при монтаже трубопроводов и вентиляционных систем, для пробивки борозд (штраб) для скрытой проводки и очистки поверхности в конструкциях с искусственных и природных строительных материалов, разрушение горных пород, а также сверления отверстий в различных материалах, установки дюбелей, завинчивания винтов и шурупов, рубки металла, обработки дерева и других работ [2].

Перфораторы (см. рис. 1.1, м) отличаются от молотков тем, что кроме ударного узла они имеют механизм вращения переменного рабочего инструмента - бура, сверла, отвертки и др.

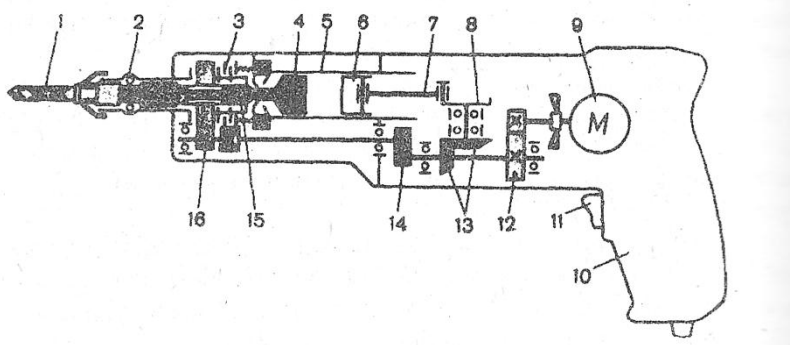
По конструкции и принципу действия перфораторы разделяются на электрические и электромагнитные.

Для выполнения различных технологических операций перфораторы комплектуются сменными рабочими инструментами, которые обеспечивают их универсальность: шнековыми бурами, буровыми коронками, пиками, ломачами, штробниками, зубилами, сверлами различных типов для металла и дерева, зенкерами, топорами и стамесками для обработки дерева, устройствами для забивки дюбелей, завинчивания винтов и шурупов и др.

Электрические перфораторы используются для работы в ударном, ударно-вращательном режимах, а также в режиме гайковерта. Промышленность выпускает электрические перфораторы с энергией удара 1...2 Дж, которые имеют единую конструктивную схему и принцип действия (рис. 5.11).

От однофазного коллекторного двигателя 9 с вентилятором приводятся в действие компрессионно-вакуумный ударный и вращательный механизмы, которые располагаются в алюминиевом стволе с виброизоляцией. Корпус электродвигателя - пластмассовый и выполнен слитно с основной рукояткой 10 пистолетного типа, в которую вмонтированы выключатель 11, устройство для подавления радиопомех и кабель для питания электродвигателя.

Ударный механизм включает двухступенчатый редуктор, кривошипно-шатунный механизм с шатуном 7 и кривошипом 8, цилиндр 5, поршень 6 и боек 4.



- 1 - рабочий инструмент; 2 - механизм крепления рабочего инструмента;  
 3 - предохранительная дисковая фрикционная муфта; 4 - боек; 5 - цилиндр;  
 6 - поршень; 7 - шатун; 8 - кривошип; 9 - электродвигатель с вентилятором; 10 -  
 основная рукоятка; 11 - выключатель; 12, 13, 14, 16 - цилиндрические и конические  
 шестерни; 15 - переходник

**Рисунок 5.11 - Кинематическая схема компрессионно-вакуумного перфоратора**

Вращательное движение кривошипу передается от электродвигателя через пары цилиндрических 12 и конических 13 шестерен. Боек, который под действием воздушной подушки движется возвратно-поступательно, наносит удары по переходнику 15, который передает энергию удара бойка рабочему инструменту 1. Непрерывное вращение сменному рабочему инструменту (буровому, сверлильному, закручивающему и др.) передается через

крутящий механизм, который включает три пары цилиндрических шестерен 12, 14, 16, и предохранительную фрикционную муфту 3 предельного момента, которая срабатывает (отключает механизм) при случайном заклинивании рабочего инструмента. Она защищает привод от перегрузок и обеспечивает безопасность оператора от механических травм. Для крепления сменного рабочего инструмента служит механизм 2.

Для компенсации утечки воздуха из подушки в камере есть кольцевая выточка, а в нижней зоне бойка - окно. В момент удара бойка по инструменту эти окна соединяются с атмосферой, и воздух проходит в камеру сжатия (аналогично конструкции электрического молотка).

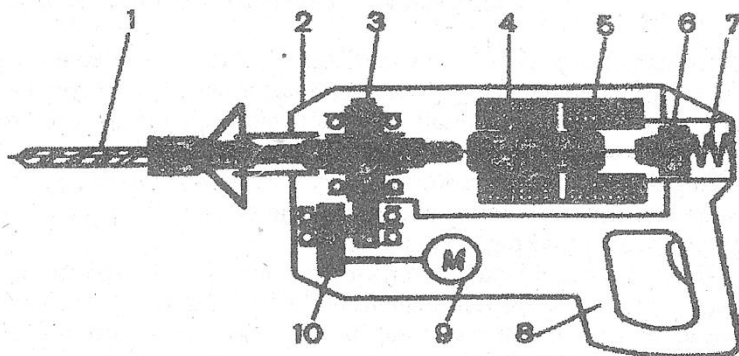
При работе в ударном и ударно-вращательном режимах перфоратор может автоматически переходить на «холостой ход» (безударный режим) при остановке нажима на рукоятки и смещении рабочего инструмента вниз. При этом боек захватывается пружинным кольцом и фиксируется в этом положении.

Электрические перфораторы развивают энергию удара бойка 1...2 Дж при частоте ударов бойка 25...40 Гц и мощности 0,35...0,45 кВт.

Диаметр пробуренных отверстий 8...16 мм, скорость бурения (бетон класса В15) 90...100 мм/мин [2].

Электромагнитные перфораторы с энергией удара 2,5 Дж работают в трех режимах: ударно-вращательном, ударном и вращательном.

В пластмассовом корпусе 2 (рис.5.12) перфоратора с основной 8 и боковой рукоятками размещены ударный и вращательный механизмы. Ударный механизм соленоидного типа с воздухозащитой (аналогичной электромагнитным молоткам) включает магнитопровод, две магнитные катушки 5 прямого и обратного движения, боек 4 и буфер 6 с амортизатором 7.



1 – рабочий инструмент; 2 – корпус; 3 – муфта предельного момента; 4 – боек; 5 – магнитные катушки; 6 – буфер; 7 – амортизатор; 8 – основная рукоять; 9 – электродвигатель; 10 – редуктор

**Рисунок 5.12 – Кинематическая схема электромагнитного перфоратора**

Вращение рабочему инструменту передается от однофазного коллекторного двигателя 9 с вентилятором через двухступенчатый цилиндрический редуктор 10 и предохранительную шариковую муфту предельного момента 3. Рабочий инструмент закрепляется в буксе с помощью пальца. Для выполнения бурильных работ рабочий инструмент получает вращательное движение от электродвигателя 9 и удары бойка по хвостовику от электромагнитных катушек 5.

Энергия удара бойка электромагнитных перфораторов 2,5 Дж, частоты ударов 50 Гц, максимальный диаметр пробуриваемых отверстий 80 мм [2].

## 5.6 Электрические ручные машины для обработки металла

К этой группе электрических машин относят электроножницы, кромкорезы, пилы дисковые и цепные, молотки зубильные и пучковые, резьбонарезные машины, электроточила и заточные станки.

**Ножницы ручные электрические** используют для разрезания листового металла, вырубки в нем отверстий различной конфигурации. Ими можно резать как листы (толщиной до 3 мм), так и другие изделия различного профиля - трубы, бруски и др.

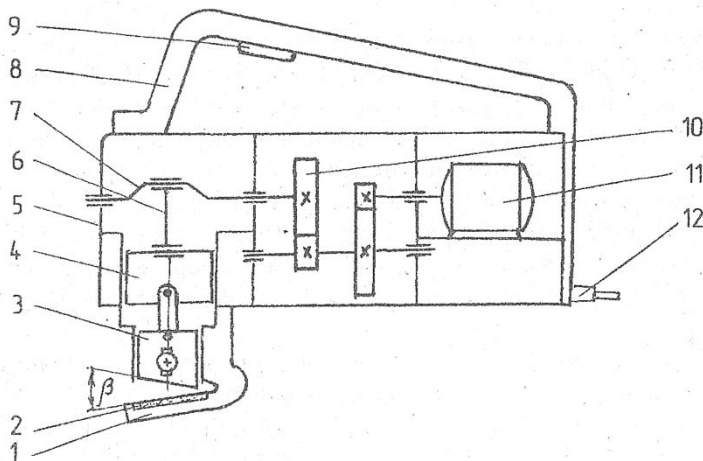
В зависимости от толщины разрезаемого материала, его прочности и мощности двигателя скорость резки электроножницами составляет 3...6 м/мин [13].

По принципу действия и конструкции режущего инструмента электрические ножницы разделяют на ножевые, вырубные и прорезные. Все ножницы имеют единую унифицированную конструкцию привода (двигатель, редуктор) и кривошипно-шатунного механизма и отличаются между собой только типом режущего инструмента.

Составными частями ножниц (рис. 5.13) являются: однофазный коллекторный двигатель 11 с двойной изоляцией, двухступенчатый цилиндрический редуктор 10, кривошипно-шатунный механизм, режущий инструмент, корпус 5, рукоятка 8 с выключателем 9 и кабель 12. Кривошипно-шатунный механизм включает эксцентриковый вал 7, шатун 6, ползун 4, к которому прикрепляется подвижный нож 3. Вращение эксцентриковому валу передается от электродвигателя через редуктор.

**Ножевые ножницы** используют для прямолинейного и фасонного разрезания листового проката, причем резка должна начинаться только с края материала. Режущим органом является подвижный 3 и неподвижный 2 однолезвийные ножи, между которыми закладывается разрезаемый материал. Оптимальное значение угла между ножами  $\beta = 24...25^\circ$  [2]. При увеличении угла создаются, дополнительные усилия, которые выталкивают материал из зева, а при его уменьшении увеличивается сопротивление резке. Неподвижный нож устанавливается на стальной завитке 1, которая отлита заодно с корпусом ножниц.

**Вырубные ножницы** используют для прямолинейного и фасонного резания листового проката, а также для создания отверстий любого профиля в листах, вентиляционных коробах и трубах. Принцип действия вырубных ножниц основывается на долблении отдельных сегментов. Режущим органом является подвижный пуансон в виде полого цилиндра, которому через ползун 4 передается возвратно-поступательное движение. Резка такими ножницами возможно как с края листа, так и с его середины, но для этого в начальной точке реза заранее высверливают отверстие для выхода матрицы. Ножницы вырубают в листе паз шириной, равной диаметру пуансона.



1 – завитка; 2 – неподвижный нож; 3 – подвижный нож; 4 – ползун; 5 – корпус;  
 6 – шатун; 7 – эксцентриковый вал; 8 – рукоятка; 9 – выключатель;  
 10 – редуктор; 11 – электродвигатель; 12 – кабель

**Рисунок 5.13 - Кинематическая схема электрических ножевых ножниц**

**Вырезные ножницы** имеют аналогичное назначение. Режущий инструмент ножниц состоит из подвижного ножа специальной формы, который закрепляется на ползуне 4 с помощью нарезного хвостовика и двух неподвижных ножей, которые закрепляются на рукоятке. Подвижный нож движется между неподвижными ножами.

Основные технические характеристики ножниц приведены в табл. 5.2 [2].

*Таблица 5.2 - Основные технические характеристики ручных ножниц*

Тип ножниц	Количество двойных ходов, мин <sup>-1</sup>	Скорость резки, м/мин	Потребляемая мощность, кВт
Ножевые	1060...1350	1,8...4,0	0,45...0,55
Вырубные	600...2120	1,0...2,0	0,45...1,90
Вырезные	600...1200	1,5...1,8	-

**Кромкорезы ручные** предназначены для создания фасок под сварку на деталях из стали, цветных металлов и пластмасс. Конструкция привода кромкореза аналогичная ножевым ножницам. Эксцентриковый вал через шатун и палец передает возвратно-поступательное движение ползуна, в который помещается пуансон. Ползун перемещается в рукоятке, которая закрепляется в корпусе головки. К рукоятке с помощью пальца прикрепляется скоба, которая предназначена для установки и удержания машины на обрабатываемых деталях.

Для регулирования размера зева (в зависимости от толщины обрабатываемой детали) на скобе закрепляется подкладка и скользящий упор. При перемещении машины вдоль кромки обрабатываемой детали, пуансон последовательно срезает участки кромки, образуя фаску под соответствующим углом.

**Пилы ручные дисковые по металлу** предназначены для резки стального проката при выполнении арматурных, сварочных и монтажных работ. Основными параметрами дисковых пил является наибольшая глубина пропила и диаметр пильного диска. Конструкция таких пил состоит из сверлильной электрической машины, редуктора, пильного диска, опорных роликов и вспомогательной рукоятки.

**Молотки ручные зубильные** предназначены для обрубных, зачистных и чеканных работ, а также для зачистки сварных швов. Основными параметрами зубильных молотков

является энергия удара и частота ударов. Конструкцию и принцип действия таких молотков рассмотрено в разделе 5.5.

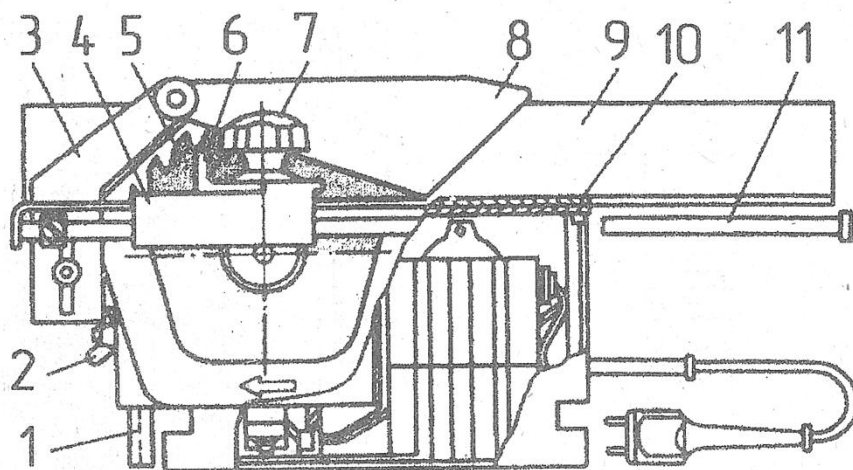
**Молотки ручные пучковые** предназначены для очистки конструкции от коррозии, окалины и старой краски при выполнении монтажных и ремонтных работ. Рабочий наконечник таких молотков представляет собой пучок закаленных игл, которые изготовлены из прочной стали.

### 5.7 Электрические ручные машины для обработки дерева

Для обработки дерева используют ручные дисковые пилы, деревообрабатывающие и распилочные машины, рубанки, долбежники и лобзики. Они, как правило, изготавливаются на базе однофазных коллекторных двигателей с двойной изоляцией, защищая оператора от поражения электрическим током.

**Распилочные машины** (рис.5.14) предназначены для распиловки древесины вдоль и поперек волокон, а также для резки паркетных клепок.

Машина состоит из асинхронного электродвигателя с двойной изоляцией мощностью 0,9 кВт, одноступенчатого редуктора, пильного диска 5 диаметром 200 мм и защитного устройства, которое включает нож 3 и козырек 8 для автоматического прикрытия пилы во время ее работы. На корпусе редуктора с помощью кронштейнов закрепляется плита 10 с направляющей планкой 9, которая может перемещаться по направляющим стержням 1 в вертикальной плоскости, а также устанавливаться под углом 0...45°. В заданном положении плита фиксируется с помощью гаек 2.



1 - направляющий стержень; 2 - гайка; 3 - нож; 4 - каретка; 5 - пильный диск; 6 - рожок; 7 - фиксатор; 8 - козырек; 9 - направляющая планка; 10 - плита; 11 - направляющая

**Рисунок 5.14 - Распилочная машина**

При распиливании паркетных клепок под углом используют поворотный рожок 6 с фиксатором 7, который устанавливается под необходимым углом пропила на каретке 4, которая движется вместе с паркетной клепкой вдоль направляющей 11.

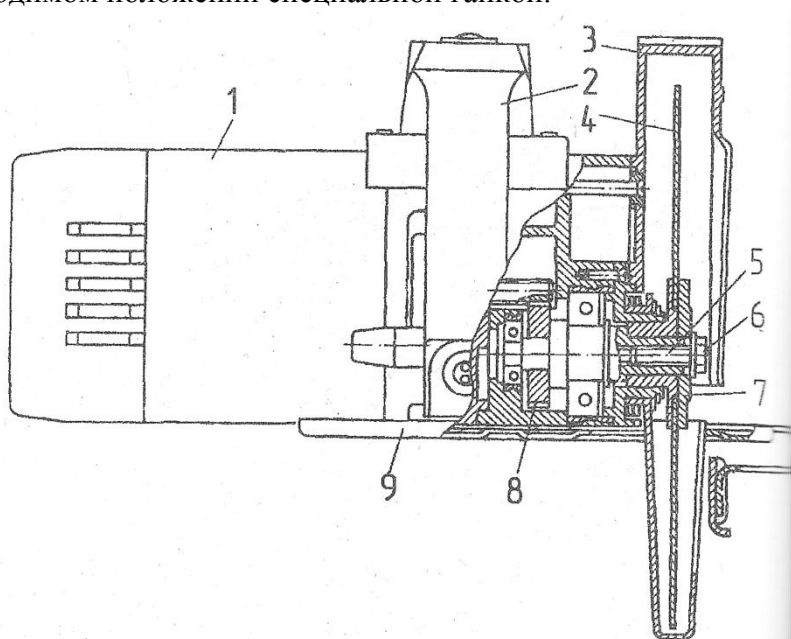
Пильный диск устанавливается на втулке и закрепляется с помощью прижимной шайбы и болта (на схеме не показаны). Для распиловки брусков в продольном направлении используют пильные диски с числом зубцов 24, при поперечном - с числом

36. Для паркетных клепок используют диски с числом зубьев 96. Ручная машина обеспечивает наибольшую глубину пропила 60 мм [2].

**Электрические дисковые пилы** предназначены для распиловки деревянных брусков толщиной до 65 мм, а также плит с асбестоцемента, мрамора и др. аналогичных материалов.

Рабочим органом пилы (рис. 5.15) является стальной пильный диск 4 диаметром 200 мм, по кругу которого последовательно расположены зубья определенного профиля.

Диск с помощью болта 6 и фланца 7 крепится на шпинделе 5, который расположен ниже оси электродвигателя 1, благодаря чему корпус машины не ограничивает глубину пропила. Привод с рабочим органом смонтирован на опорной плите 9, которая перемещается вдоль материала. Глубина пропила регулируется подъемом или опусканием двигателя относительно плиты. При распиливании дерева под углом корпус машины наклоняют относительно опорной плиты на необходимый угол ( $0...45^{\circ}$ ) и фиксируют его в необходимом положении специальной гайкой.



1 – электродвигатель; 2 – рукоятка; 3 – кожух; 4 – пильный диск; 5 – шпиндель; 6 – болт; 7 – фланец; 8 – редуктор; 9 – опорная плита

**Рисунок 5.15 – Дисковая пила**

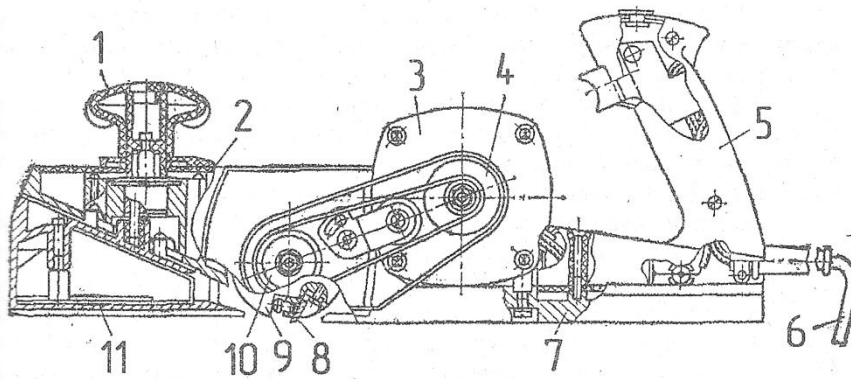
Пильный диск поставляется с защитным кожухом 3, который имеет подвижную и неподвижную части, которые закрывают, соответственно, нижнюю и верхнюю части диска. На неподвижном кожухе устанавливается нож для расклинивания обрабатываемого материала и предотвращения блокировки. Пила включается при помощи двухполюсного выключателя, расположенного на рукоятке 2.

Дисковые пилы обеспечивают глубину пропила до 65...80 мм. Они подключаются к питающей сети однофазного переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц [2].

**Электрические рубанки** предназначены для строгания изделий из дерева при выполнении столярных работ, а также при настилении полов. Их используют также как малогабаритные переносные строгальные станки.

Рубанок состоит из пластмассового корпуса 2 (рис. 5.16), основной 5 и вспомогательной 1 рукояток, однофазного коллекторного двигателя 3 с двойной изоляцией, клиноременной или зубчато-ременной передачи 10, фрезы 9 с вставленными плоскими лезвиями и механизма регулирования глубины строгания 11.





1 - вспомогательная рукоятка; 2 – корпус; 3 – электродвигатель; 4 - выключатель;  
5 - основная рукоятка; 6 – кабель; 7 - задняя неподвижная лыжа; 8 - нож; 9 - фреза;  
10 - ременная передача; 11 - передняя подвижная лыжа

**Рисунок 5.16 - Конструкция электрического рубанка**

Рабочим органом рубанка является цилиндрическая фреза 9, в пазах которой закрепляются стальные плоские двухлезвийные ножи 8. Точная настройка положения лезвия ножей производится регулировочными винтами. Как правило, лезвия ножей выступают за цилиндрическую поверхность фрезы на 2...3 мм. Рабочая поверхность лезвия должна быть строго параллельна оси фрезы. Угол заострения режущей кромки зависит от свойств дерева и составляет при строгании мягких пород 35°, а при строгании твердых пород дерева 40...42 ° [13].

Рабочий орган с приводом монтируется в корпусе 2 с передней рукояткой 10 и задней неподвижной 7 лыжами. Глубина строгания регулируется вращением ручки 1, которая изменяет положение передней лыжи относительно обрабатываемой поверхности. Включается рубанок через двухполюсный выключатель 4, который устанавливается на основной рукоятке. Для работы в стационарном режиме рубанок может быть закреплен в перевернутом положении (лыжами сверху). Основными параметрами рубанка является ширина и глубина строгания за один проход.

Рубанки обеспечивают ширину строгания 75...100 мм при глубине строгания до 3 мм. Мощность электродвигателя составляет 0,6...1,15 кВт [2].

**Электрические долбежники** предназначены для выполнения в изделиях из дерева отверстий, шпунтовых пазов и гнезд прямоугольной формы.

Долбежник (рис. 5.17) состоит из однофазного коллекторного двигателя 3, цилиндрического редуктора, бесконечной фрезерной цепи 6 с направляющей линейкой 5, двух направляющих колонн с прижимами 1, рычажного механизма подачи 4, основы 7 с зажимным устройством.

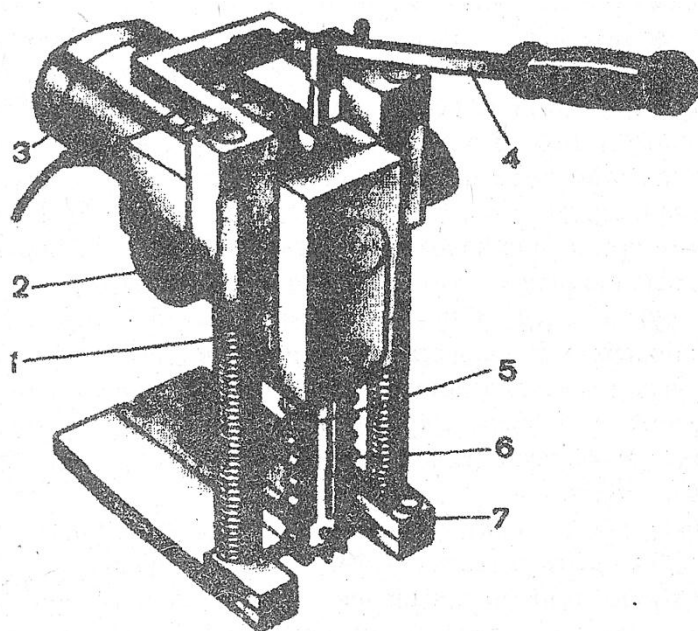
Фрезерная цепь обходит направляющую линейку и приводится в действие ведущей звездочкой, которая закрепляется на выходном валу редуктора. На нижнем конце направляющей линейки смонтирован механизм натяжения цепи. Привод с рабочим органом располагается на подвижной каретке, которая перемещается вдоль двух направляющих колонн, которые неподвижно прикреплены к основанию.

Благодаря пружинам каретка отклоняется в верхнее положение. Если приложить усилия к рычагу 4, то она смещается в нижнее положение, сжимая пружины. Глубина хода регулируется ограничителем перемещения каретки. Для фиксации привода на колонах служат стопорные винты 2.

Фрезерная цепь состоит из внешних режущих и внутренних скалывающих элементов, которые соединяются между собой шарнирно. Ширина фрезерной цепи и ширина направляющей линейки определяют, соответственно, ширину и глубину паза, который выполняется за один проход. Максимальная глубина паза определяется длиной

направляющей линейки. Для выполнения пазов различного сечения каждый долбежник оснащается сменным комплектом фрезерных цепей и линейек.

Основными параметрами долбежника являются размеры пазов и скорость резанья. В отечественных долбежниках максимальный размер пазов составляет 20x60x160 мм, скорость резанья 0,1 м/с, мощность электродвигателя до 1,1 кВт [2].

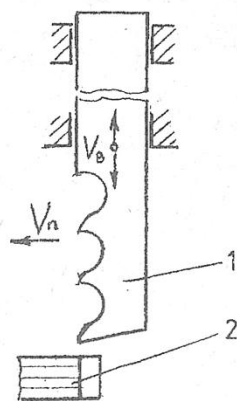


1 – прижимной механизм; 2 - стопорный винт; 3 – электродвигатель; 4 - механизм подачи; 5 - направляющая линейка; 6 - фрезерная цепь; 7 – основа

**Рисунок 5.17 - Электрический долбежник**

**Электролобзики** используют при обработке изделий из дерева или пластмассы, поверхности которых имеют криволинейный профиль. С их помощью выполняют отверстия любой формы, включая замкнутую, и отрезание листов фанеры, паркетных клепок и др.

Рабочим инструментом является специальная пила (рис. 5.18), которая перемещается в обратно -поступательном направлении.



1 – пила; 2 – изделие

**Рисунок 5.18 - Схема движения рабочего инструмента электролобзика**

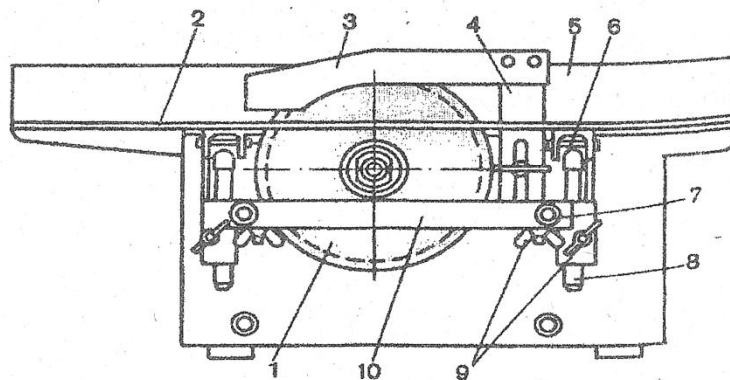
Конструкция привода рабочего инструмента аналогична приводу электроножниц (см. рис. 5.13). Перемещение лобзика в горизонтальном направлении выполняет оператор.

**Деревообрабатывающие машины** (рис. 5.19) предназначены для распиливания древесины вдоль и поперек волокон, а также ее строгания, сверления и фрезерования. Поставляются такие машины в виде компактного переносимого устройства, оснащенного комплектом рабочего инструмента для распиливания, сверления, строгания и фрезерования.

Составными частями машины являются фуговальный механизм, прижимное и защитное устройства, стол для сверления и фрезерования. Фуговальный механизм состоит из асинхронного однофазного двигателя мощностью 0,9 кВт, алюминиевого барабана с строгальными ножами и клиноременной передачи. На конусном конце вала барабана устанавливается патрон для крепления фрез и сверл.

Устройство для распиливания включает пильный диск 1, прямую 2 и угловую 10 плиты, направляющую линейку 5, кронштейны направляющие стержни 7 и 8. Для фиксации положения устройства служат гайки 9. Защитное устройство включает нож 4 с козырьком 3.

Машина обеспечивает наибольшую глубину пропила 45 мм, ширину строгания за один проход 200 мм, наибольшую глубину строгания за один проход 2 мм [2].



1 - пильный диск; 2 - прямая плита; 3 - козырек; 4 - нож; 5 - линейка;  
7 - кронштейн; 7, 8 - направляющие стержни; 9 - гайка; 10 - угловая плита

**Рисунок 5.19 - Деревообрабатывающая машина**

## 5.8 Контрольные вопросы

- 1 По каким признакам классифицируют ручные электрические машины?
- 2 Какие типы двигателей используются в ручных электрических машинах?
- 3 Строение и принцип действия электрической сверлильной машины.
- 4 От чего зависит расположение рукояток электрической сверлильной машины?
- 5 Средства регулирования частоты вращения рабочего инструмента электрической сверлильной ручной машины.
- 6 Средства крепления рабочего инструмента с шпинделем ручной сверлильной машины.
- 7 Назначение прямых и угловых ручных шлифовальных машин.
- 8 Какие типы шлифовальных кругов используются в прямых и угловых шлифовальных машинах?
- 9 В каких случаях нельзя использовать шлифовальные машины с однофазным коллекторным двигателем?
- 10 Назовите основные параметры электрических резьбозавертывающих машин.
- 11 Строение и принцип действия электрического частотударного гайковерта.

- 12 Строение и принцип действия электрического редкоударного гайковерта.
- 13 Строение и принцип действия электрического шуруповерта.
- 14 Назовите основные параметры электрических машин ударного и ударно-вращательного действия.
- 15 Строение и принцип действия электрического компрессионно-вакуумного молотка.
- 16 Строение и принцип действия электромагнитного молотка.
- 17 Строение и принцип действия электрической трамбовки.
- 18 Строение и принцип действия электрического компрессионно-вакуумного перфоратора.
- 19 Строение и принцип действия электромагнитного перфоратора.
- 20 Строение и принцип действия ножниц для обработки дерева.
- 21 Какие ручные электрические машины используются для обработки дерева?
- 22 Какие ручные электрические машины используются для обработки металла?
- 23 Строение и принцип действия ручных машин для распиливания дерева.
- 24 Строение и принцип действия ручных электрических долбежников и лобзиков.

## **Лекция №6. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ РУЧНЫЕ МАШИНЫ**

### **6.1 Общие сведения и классификация пневматических ручных машин**

Пневматические ручные машины получили широкое применение при выполнении строительно-монтажных, санитарно-технических и отделочных работ, для обработки металла и камня, для трамбовки грунта, при монтажных работах, особенно в тех условиях, где использование ручных электрических машин невозможно. Например, работа в пожароопасной среде, в условиях повышенной влажности воздуха, воды, отсутствия источника электрической энергии и др.

В качестве привода используется пневмодвигатель, который работает от источника сжатого воздуха (компрессора) давлением 0,5...0,7 МПа. С целью избегания снижения эксплуатационных характеристик и увеличения эксплуатационных расходов давление воздуха в месте его входа в исполнительный механизм не должно быть меньше указанного в паспорте. Пониженное давление приводит до больших затрат сжатого воздуха и, как следствие, подорожание этих работ. Сжатый воздух к ручным пневматическим машинам подается через резиноканевые рукава с внутренним диаметром 9, 12, 18 и 25 мм.

Пневматические ручные машины по сравнению с электрическими легче, надежней и более долговечны в работе, просты и безопасны в обслуживании. Благодаря небольшой собственной массе, которая приходится на единицу мощности, пневмопривод позволяет создавать малогабаритные ручные машины.

Небольшие габаритные размеры пневматических машин позволяют агрегировать их в блоки, благодаря чему значительно повышается их продуктивность.

В случае перегрузки машины пневмодвигатель просто останавливается. При этом не возникает никаких повреждений, а сам двигатель может некоторое время оставаться в таком положении. Реверс двигателя выполняется несложным изменением направления рабочего потока сжатого воздуха.

Вследствие большей безопасности при работе с сжатым воздухом ручные пневмомашины могут использоваться в среде, где повышенная влажность воздуха или присутствует вода.

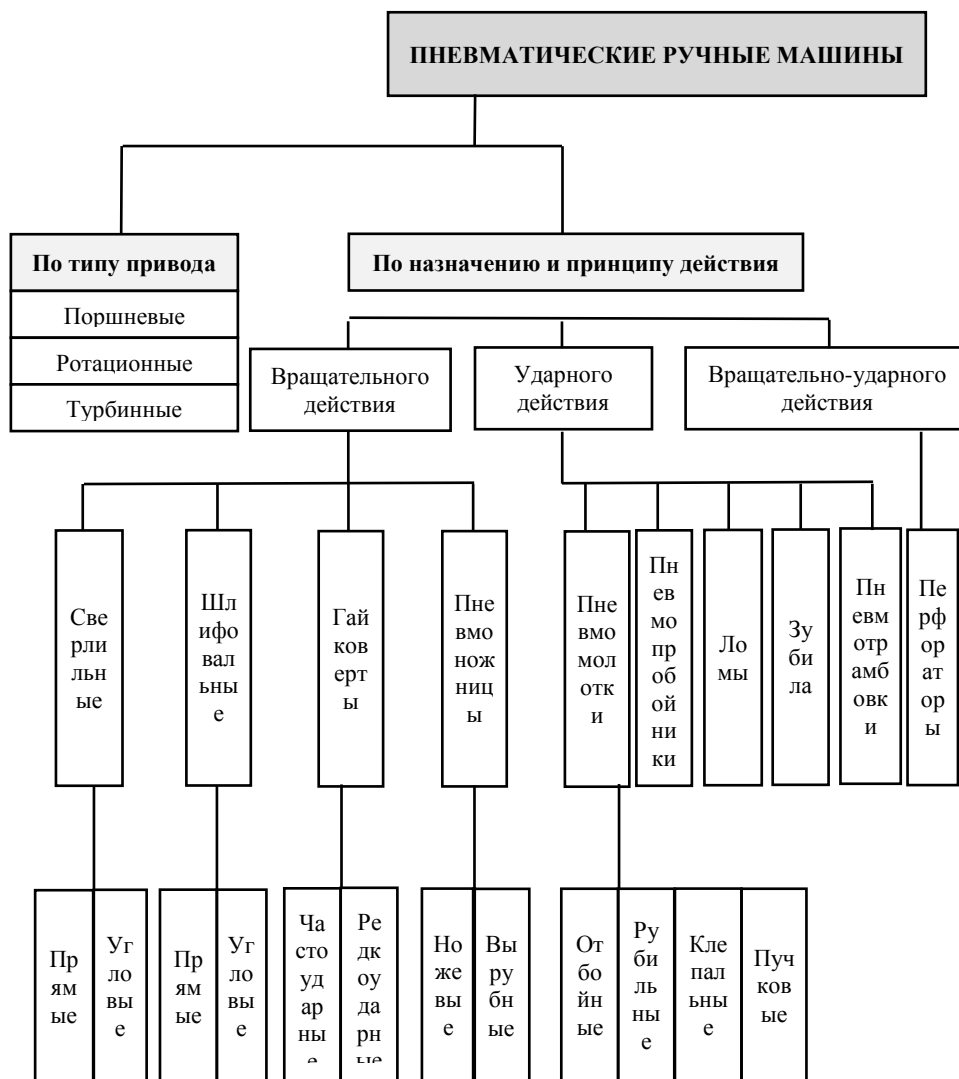
Трудоемкость изготовления ручных машин и их стоимость в 2...4 раза ниже по сравнению с электрическими.

К недостаткам можно отнести необходимость вспомогательной системы для подготовки и подачи сжатого воздуха. Кроме того, при низких температурах воздуха ухудшаются эксплуатационные показатели пневмопривода.

Для обеспечения надежности работы пневматических механизмов необходимо один раз в месяц разбирать, промывать и при необходимости заменять изношенные детали. Кроме того, не реже 3 раз в смену их необходимо смазывать. КПД пневматических ручных машин также невысок (0,08...0,16).

Они используют электроэнергию, в среднем, в 7...9 раз больше (поскольку для привода компрессора необходимо иметь мощный двигатель), а также требуют вспомогательных эксплуатационных затрат на сооружение трубопроводов-воздуховодов с приборами для очистки воздуха и обслуживание компрессорной установки. Кроме того, пневматические машины при работе создают большой шум.

Пусковое устройство выполняется кнопочного типа или с поворотной рукояткой. На время перерыва в работе и после окончания работы пневматического механизма необходимо закрыть доступ сжатого воздуха к нему, а затем отсоединить его от воздушной сети.



Классификация пневматических ручных машин приведена на рис. 6.1. Для привода вращательных пневмомашин используют поршневые, ротационные и турбинные пневмодвигатели. Ротационные и турбинные пневмодвигатели простые по конструкции, портативные (на 1 кВт мощности двигателя приходится не более 1 кг массы), высокоскоростные (до  $330 \text{ с}^{-1}$ ), легко реверсируются и способны выдерживать значительные перегрузки [2].

Турбинные двигатели, которые имеют частоту вращения до  $1670 \text{ с}^{-1}$ , используют для высокоскоростных шлифовальных машин с абразивными борголовками диаметром до 30 мм. Основным недостатком таких двигателей является интенсивный износ лопаток и значительный шум при работе.

Ротационные пневмодвигатели используют чаще других. Их изготавливают реверсивными и нереверсивными - с правым и левым вращением ротора. Реверсирование выполняется при помощи специального механизма, установленного в задней крышке двигателя или пусковом устройстве. Заданная скорость ротора ротационных двигателей поддерживается центробежными регуляторами.

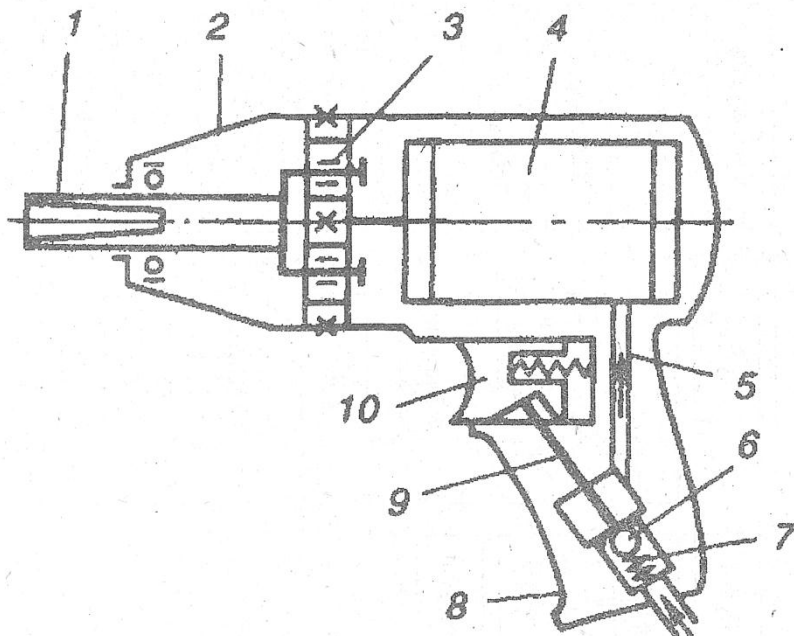
Для снижения шума до уровня санитарных норм машины с ротационными пневмодвигателями поставляются с глушителями. Основные узлы пневматической машины вращательного действия (двигатель, редуктор, рукоятка с пусковым устройством) производится в виде отдельных унифицированных узлов, которые заменяют при выходе их из строя.

**Рисунок 6.1 – Классификация пневматических ручных машин**

## 2.2 Пневматические машины вращательного и вращательно-поступательного действия

Пневматические сверлильные ручные машины по конструкции могут быть прямыми и угловыми. Прямые сверлильные РМ имеют корпус пистолетного типа аналогично электрическим сверлильным машинам. В их кинематическую схему вводится одно- или двухступенчатый планетарный редуктор. В угловых машинах планетарный редуктор работает совместно с конической или цилиндрической передачей. Шпиндель прямых сверлильных РМ имеет внешний или внутренний конус Морзе.

Вращение шпинделю 1 (рис.6.2) передается через одноступенчатый редуктор 3 от встроенного в корпус 2 нереверсивного ротационного пневмодвигателя 4.



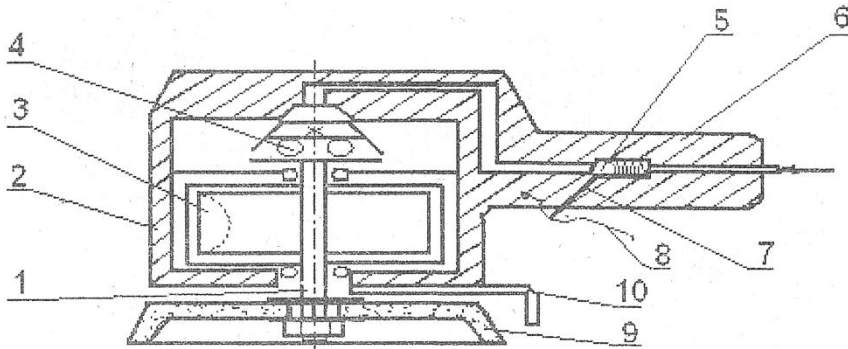
1 – шпиндель; 2 – корпус; 3 - планетарный редуктор; 4 – ротационный пневмодвигатель; 5 – канал; 6 – клапан; 7 - пружина; 8- рукоятка; 9 – толкатель; 10 – курок

**Рисунок 6.2 - Кинематическая схема пневматической сверлильной машины**

Сжатый воздух поступает в двигатель через канал 5 и пусковое устройство, которое состоит из шарового клапана с пружиной 7, толкателя 9, подпружиненного курка 10. При нажатии на курок толкатель перемещается вниз и открывает шаровой клапан.

Пневматические сверлильные РМ способны сверлить отверстия диаметром до 32 мм (по стали), имеют частоту вращения шпинделя (на холостом ходу)  $6,6...33 \text{ с}^{-1}$ , мощность двигателя 0,4...1,8 кВт, массу 1,7...8 кг. Расход сжатого воздуха при максимальной мощности составляют 0,9...1,2 м<sup>3</sup>/мин, рабочее давление воздуха 0,5 МПа [2].

Шлифовальные пневмомашины выполняют прямыми, угловыми и торцевыми. Конструкция первых двух типов машин аналогична электрическим шлифовальным машинам (см. рис. 1.1 д, е, ж), а торцевая представлена на рис.6.3. Торцевые шлифовальные машины используют, в основном, для шлифования металлических, гранитных и мраморных поверхностей. Шлифовальный круг 9 закрепляется на валу 1 ротора пневмодвигателя 3 и оборудуется защитным кожухом 10. Постоянная частота вращения круга на холостом ходу обеспечивается шаровым регулятором 4. Корпус 2 машины имеет основную 6 и вспомогательную рукоятки. В основной рукоятке смонтированы толкатель 7 и пусковое устройство 5, управляемое курком 8.



1 – вал; 2 – корпус; 3 – пневмодвигатель; 4 – центробежный регулятор; 5 – клапан; 6 – основная рукоятка; 7 – толкатель; 8 – курок; 9 – шлифовальный круг; 10 – защитный кожух

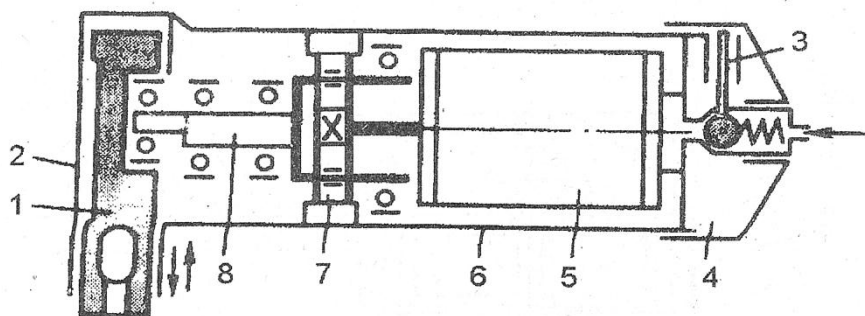
**Рисунок 6.3 – Кинематическая схема торцевой шлифовальной пневмомашины**

Прямые машины комплектуются кругами диаметром 63...150 мм, торцевые и угловые – чашечными кругами диаметром 125...180 мм. Частота вращения шпинделя пневмошлифовальных машин  $75 \dots 200 \text{ с}^{-1}$ , мощность двигателя 0,4 ... 1,5 кВт при расходе сжатого воздуха 0,9 ... 2 м<sup>3</sup>/мин [2].

Пневматические ножницы (рис. 6.4) предназначены для резки листового материала и проката при максимальной толщине металла 1,6...2,5 мм. Основным параметром ножниц является толщина разрезаемого металла. По типу режущего инструмента они разделяются на ножевые и вырубные. Конструкция и принцип действия режущего инструмента ножевых и вырубных ножниц с пневматическими и электрическими приводами аналогичны.

Составными частями пневматических ножниц является ротационный пневмодвигатель 5, пусковое устройство 3, планетарный одноступенчатый редуктор 7, эксцентриковый механизм 8, подвижный нож 1, пластмассовый корпус 6 и рукоятка 4. Пневмодвигатель с планетарным редуктором встроены в рукоятку, которая служит также и глушителем шума.

Пуск двигателя производится с помощью рукоятки 4, которая поворачивается по часовой стрелке. При этом открывается подпружиненный шаровой клапан, и сжатый воздух поступает в пневмодвигатель и начинает вращаться вал двигателя. При обратном движении рукоятки 4 подача воздуха к двигателю прекращается.



1 – подвижный нож; 2 – направляющая; 3 – пусковое устройство; 4 – рукоятка; 5 – пневмодвигатель; 6 – корпус; 7 – планетарный редуктор; 8 – эксцентриковый механизм

**Рисунок 6.4 – Кинематическая схема пневматических ножниц**



Продуктивность ножниц 1,6...1,8 м/мин, число двойных ходов  $25 \text{ с}^{-1}$ , потери сжатого воздуха  $0,8 \text{ м}^3/\text{мин}$  [2].

### 6.3 Пневматические машины ударного и ударно-вращательного действия

К пневматическим ручным машинам ударного действия относят молотки различного назначения (отбойные, рубильные, клепальные), ломы и трамбовки.

Отбойные молотки используют для рыхления твердых и мерзлых грунтов при выполнении земляных работ небольшого объема, для разборки бетонных зданий и дорожного покрытия, создания углублений, отверстий и проемов в стенах и перекрытиях.

Рубильные и клепальные молотки (см. рис. 1.1, *о, н*) используют для рубки металла, чеканки сварных соединений, обработки кромок под сварку, пробивки пазов и отверстий в металле толщиной до 16 мм, заделки стыков водопроводных и канализационных чугунных труб, для отделочных работ при обработке плит из природного камня, а также для клепки в горячем состоянии заклепок диаметром до 12 мм и разборки заклепочных соединений.

Ломы (бетоноломы) предназначаются для разрушения фундаментов, вскрытия бетонного и асфальтобетонного дорожного покрытия, разработки твердых и мерзлых грунтов при рытье траншей, котлованов и прохождении тоннелей.

По конструкции вышеназванные машины аналогичны. Они имеют пневмодвигатели со свободным движением поршня. Отличаются эти машины только системой распределения воздуха - с клапанной или золотниковой.

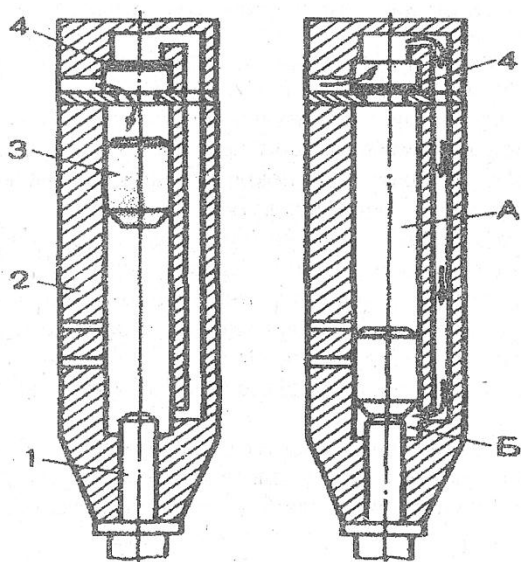
Принцип действия этих машин основывается на преобразовании энергии сжатого воздуха в механическую работу поршня - бойка 3 (рис.6.5), который движется возвратно-поступательно в цилиндре ствола 2 машины и наносит периодические удары на хвостовик/рабочего инструмента. Возвратно-поступательное движение поршня-бойка обеспечивается с помощью воздушно-распределительного устройства 4 клапанного типа, который приводится в действие сжатым воздухом. Благодаря чему сжатый воздух подается поочередно в камеру прямого *A* и обратного *B* хода поршня бойка.

При этом сжатый воздух к воздушно-распределительному устройству 4 поступает через пусковое устройство. При рабочем движении поршень-боек 3 перемещается вниз до удара с хвостовиком рабочего инструмента 1. Клапанная система воздухораспределения проста по конструкции и нечувствительна к загрязнениям, однако требует повышенных затрат воздуха в результате использования его части на образование компрессионных подушек в конце каждого такта. Золотниковая система воздухораспределения наиболее экономичная, однако, сложная в изготовлении и эксплуатации.

Пневматические машины ударного действия представляют собой комплексно виброзащищенные машины, в которых ударный узел отделяется от корпуса, который удерживает оператор, упругими элементами. Основными параметрами этих машин является энергия одиночного удара и частота ударов.

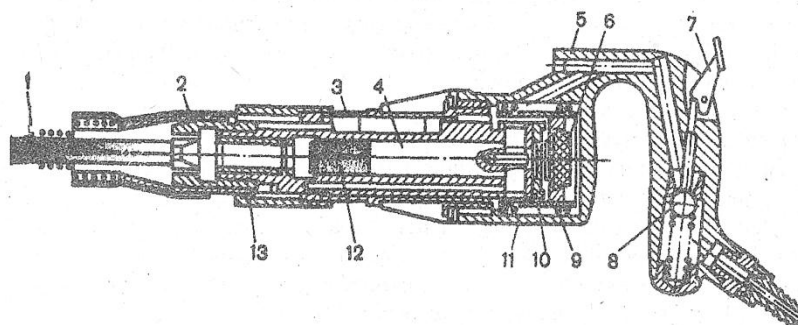
Пневматический молоток (рис. 6.6) состоит из корпуса 3, ударного узла, рукоятки 5 с пусковым устройством и виброизолированного манипулятора 2, в котором размещается рабочий инструмент 1.

Ударный узел включает передвижной ствол 13 с рабочим цилиндром 4, поршень-боек 12 и клапанное воздушно-распределительное устройство. Рукоятка молотка и жестко соединен с ней корпус виброизолированы от ударного узла пружиной 9 сжатым воздухом, который поступает в пневмокамеру 11, и буфером 6. Ударный узел перемещается вдоль виброизолированного корпуса-рукоятки на специальных разрезных направляющих малого трения, что в значительной степени поднимает эффективность системы виброизоляции.



1 - рабочий инструмент; 2 - цилиндр; 3 - боек; 4 - воздушно-распределительное устройство

**Рисунок 6.5 – Схема строения пневматической машины ударного действия**



1 - рабочий инструмент; 2 - манипулятор; 3 - корпус; 4 - цилиндр;  
5 - рукоятка; 6 - буфер; 7 - курок; 8 - пусковое устройство; 9 - пружина;  
10 - клапан; 11 - пневмокамера; 12 - поршень - боек; 13 - передвижной ствол

**Рисунок 6.6 - Схема строения пневматического молотка**

При нажатии на курок 7 сжатый воздух поступает через каналы в рукоятке к воздушно-распределительному устройству, клапан 10 которого способствует условию для поступления воздуха в камеры прямого или обратного движения, предоставляя поршню-бойку возвратно-поступательное движение. В конце рабочего хода поршень-бок наносит удар по хвостовику рабочего инструмента.

Виброзащищенный манипулятор защищает левую руку оператора от сильного вибрационного воздействия, а также позволяет постоянно управлять положением лезвия рабочего инструмента в работе или фиксировано устанавливать его под заданным углом к обрабатываемой поверхности. Кроме того, манипулятор гарантированно удерживает рабочий инструмент от его вылета из машины при холостых ударах, что исключает опасность травмирования оператора.

Пневматические молотки характеризуются энергией единичного удара 14...42 Дж, тратят воздуха 0,8...1,8 м<sup>3</sup>/мин при частоте ударов 17... 38 Гц. Масса молотков 4,5...10 кг. Ломы (бетоноломы) имеют значительно большую энергию удара (до 95 Дж) и

значительно более низкую частоту ударов (10...12 Гц) [2]. Масса бетонолома до 18 кг, поэтому его рукоятка имеет Т-образную форму.

Пневматические трамбовки используются для уплотнения грунта при засыпке траншей и других земляных работ, а также для уплотнения бетонной смеси.

Трамбовка состоит (рис. 6.7) из ствола 9, поршня 7, штока 11, рабочего наконечника 12, верхней крышки 1, нижней крышки 10, рукоятки 2, которая соединяется с корпусом с помощью амортизаторов 5.

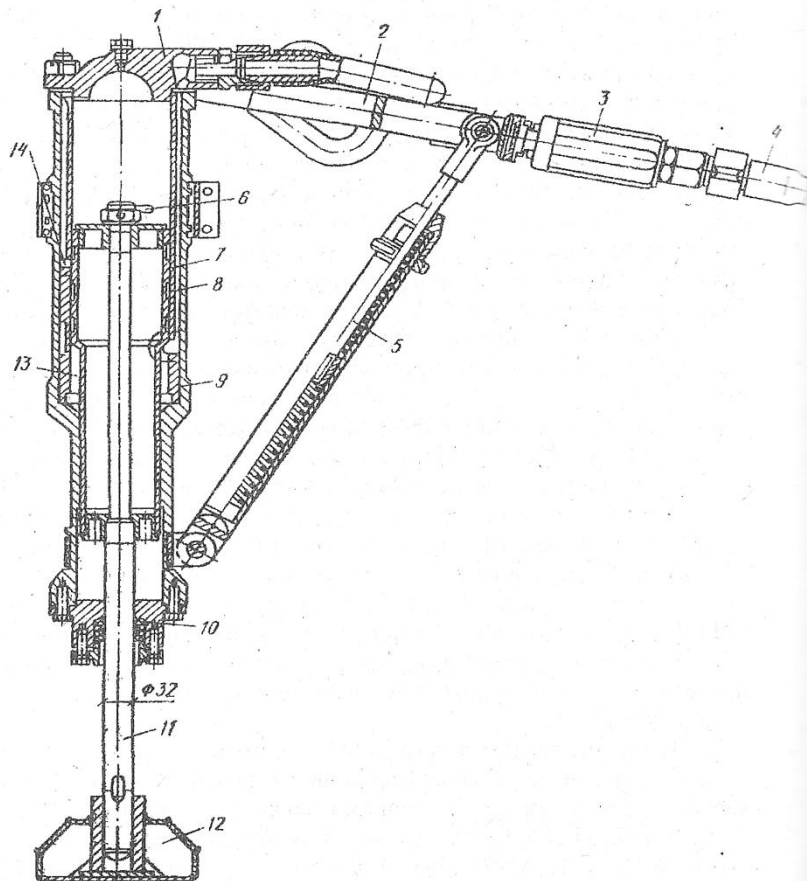
В процессе работы сжатый воздух попадает через шланг 4, пусковое устройство 3 и канал 8 в кольцевой зазор 13, что заставляет поршень перемещаться вверх. Воздух из подпоршневого пространства выходит через отверстие 6. Когда это отверстие перекрывается, то воздух, который находился над поршнем, начинает сжиматься. При дальнейшем движении поршня его нижняя кромка открывает доступ в канал 14, и сжатый воздух начинает давить на поршень сверху. Вследствие разницы площади верхней поверхности поршня и кольцевого уступа давление над поршнем станет больше, и он пойдет вниз, выполняя рабочий ход.

В процессе работы сжатый, воздух попадает через шланг 4, пусковое устройство 3 и канал 8 в кольцевой зазор 13, что заставляет поршень перемещаться вверх. Воздух из подпоршневого пространства выходит через отверстие 6. Когда это отверстие перекрывается, то воздух, который находился над поршнем, начинает сжиматься.

При дальнейшем движении поршня его нижняя кромка открывает доступ в канал 14, и сжатый воздух начинает давить на поршень сверху. В результате разницы, площади верхней поверхности поршня и кольцевого уступа давление над поршнем станет больше, и он пойдет вниз, выполняя рабочий ход.

Каждый пневматический гайковерт состоит из реверсивного ротационного пневмодвигателя с глушителем, вибробезопасного ударно-вращательного механизма, корпуса, рукоятки с пусковым устройством и механизмом реверса с переключателем.

Частоударные гайковерты выпускают прямыми и угловыми, редкоударные - только прямыми. Прямые гайковерты выполнены с безредукторной схемой, а в конструкцию угловых машин включается одноступенчатый конический редуктор.



1 - верхняя крышка; 2 – рукоятка; 3 - пусковое устройство; 4 - шланг;  
 5 - амортизатор; 6, 8 – отверстия; 7 – поршень; 9 – ствол; 10 - нижняя крышка;  
 11 - шток; 12 - рабочий наконечник; 13 - кольцевое пространство; 14 – канал

**Рисунок 6.7 - Схема строения пневматической трамбовки**

Частоударные пневматические гайковерты обеспечивают сложение нарежных соединений диаметром 14 ... 36 мм за 4 ... 10 с и развивают максимальный крутящий момент затяжки 10...1600 Нм [2]. Ударно-вращательные механизмы частоударных гайковертов унифицированы и имеют одинаковый принцип действия, схожий с принципом действия ударно-вращательных механизмов частоударных электрических гайковертов.

Редкоударные пневмогайковерты предназначены для тарированной затяжки ответственных резьбовых соединений диаметром 20 ... 60 мм и развивают энергию удара 25...160 Дж [2].

Конструкция и принцип действия редкоударных гайковертов имеет лишь некоторые различия.

Ударный механизм редкоударного пневмогайковерта (рис. 6.8) размещается в металлическом корпусе 15, а пневмодвигатель 11 с механизмом реверса 14 и пусковым устройством 13 - в пластмассовой рукоятке 12. Ударно-вращательный механизм включает составной ударник и синхронизирующее устройство. Ударник состоит из ведущей части 10, которая соединена с выходным валом пневмодвигателя, и ведомой 8 с кулачками 6 для передачи крутящего момента на шпindel 2 с ключом 1 и кулачками 5 с

помощью синхронизирующего устройства, состоящего из синхронизирующей втулки 16, закрепленной на валу 7, центробежных грузов 9, силовой 4 и обратной 3 пружины. При подаче сжатого воздуха в пневмодвигатель приводятся в вращение элементы ударно-вращательного механизма. При достижении ударником определенной угловой скорости грузы 9 под действием центробежной силы смещаются к периферии в радиальном направлении и, сжимая пружину 4, перемещают ведомую часть ударника в осевом направлении до зацепления с синхронизирующей втулкой 16.

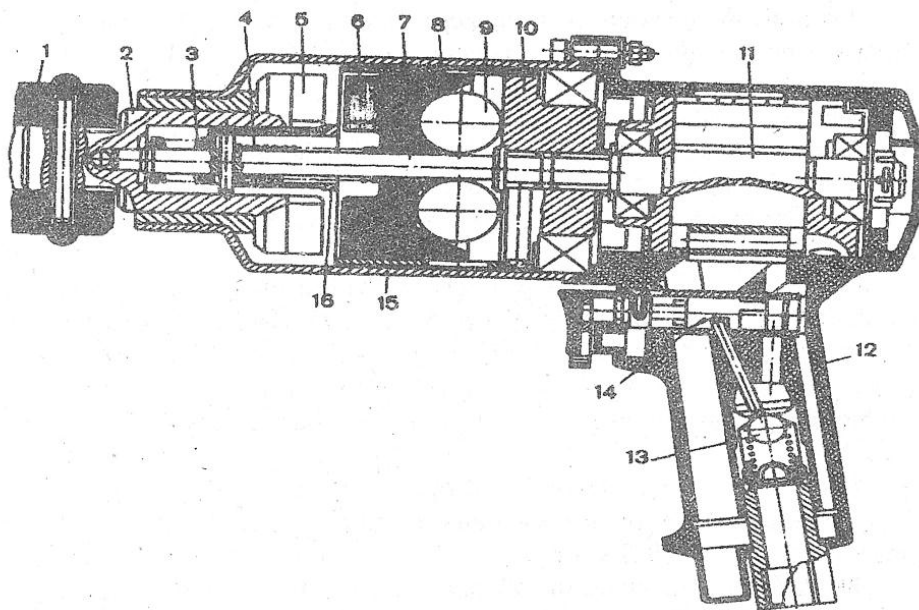
При увеличении угловой скорости ведомая часть ударника, подталкиваемая центробежными грузами, продолжает осевое перемещение вместе с синхронизирующей втулкой в направлении шпинделя, пока не будет обеспечено зацепление кулачков 5 и бна полную высоту. Возникает удар, при котором кинетическая энергия ударника передается шпинделю 2 и ключу 1. После удара скорость ведомой части ударника резко снижается, и она под действием пружины 4 возвращается в исходное положение, разжимая кулачки 5 и 6, после чего цикл затяжки повторяется. Процесс затяжки выполняется 5...15 ударами за 4 ... 10 с [2]. Оператор отключает гайковерт при отсчете определенного числа ударов.

Пневматические перфораторы используются для бурения отверстий в каменных, кирпичных и железобетонных конструкциях. Их также могут использовать для небольших объемов бурильных работ в мерзлых и твердых грунтах. Скорость вращения рабочего инструмента и частота ударов регулируется, что обеспечивает адаптацию инструмента для разных видов работы.

Конструкция пневмопривода перфоратора с прерывистым вращением рабочего инструмента приведена на рис. 6.9, а.

Перфоратор состоит из цилиндра 8, который располагается в корпусе 10, и поршня-бойка 6, в котором запрессована гайка 7. Гайка связана с винтовым стержнем 5, на конце которого установлено храповое колесо 2 с собачками 3. При подаче сжатого воздуха через канал 4 в надпоршневое пространство (рис. 6.9, б) поршень-боек начинает двигаться вниз и одновременно вращаться. Винт при этом остается неподвижным, поскольку он стопорится храповым колесом и собачками.

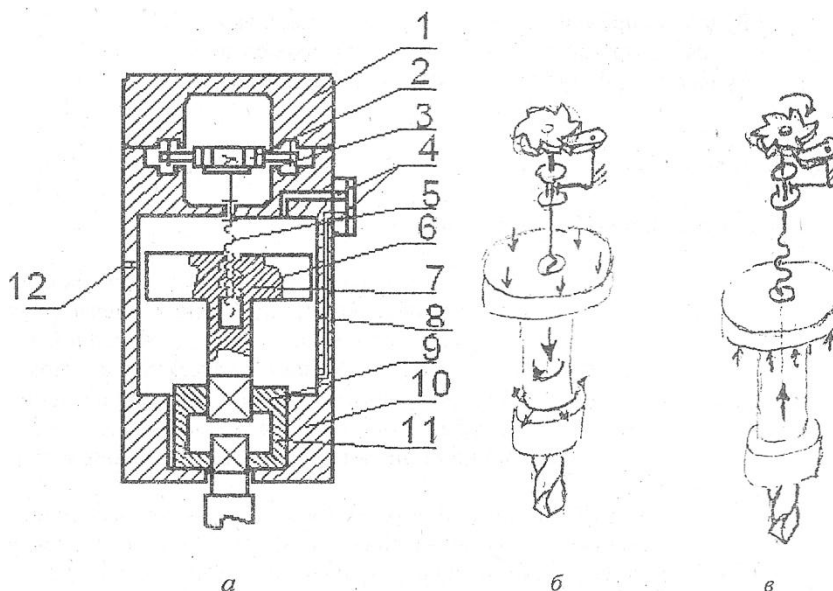
Крутящий момент от поршня-бойка до рабочего инструмента (бура) 11 передается через вращающуюся буксу 9. В конце хода поршень-боек наносит удар по хвостовику рабочего инструмента. При подаче сжатого воздуха в подпоршневое пространство поршень-боек поднимается вверх (рис. 6.9, в) вместе с вращательной буксой и рабочим инструментом. При этом винт и храповое колесо начинают вращаться, отклоняя стопорные собачки.



1 – ключ; 2 – шпindel; 3, 4 – пружины; 5, 6 – кулачки; 7 – вал;  
 9 – грузы; 8, 10 – соответственно, ведомая и ведущая часть ударника;  
 11 – пневмодвигатель; 12 – рукоятка; 13 – пусковое устройство;  
 14 – механизм реверса; 15 – корпус; 16 – синхронизирующая втулка

**Рисунок 6.8- Пневматический редкоударный гайковерт**

Для работы перфоратора только в ударном режиме хвостовик рабочего инструмента должен иметь круглую форму. При вращательном режиме без удара открывают вспомогательное отверстие 12 для свободной циркуляции воздуха в рабочей камере, то есть боек не доходит до хвостовика рабочего инструмента.



а - кинематическая схема; б, в- принцип действия;  
 1 – крышка; 2 - храповое колесо; 3 – собачка; 4 – каналы; 5 - винт;  
 6 - поршень-бойек; 7 – гайка; 8 – цилиндр; 9 - вращательная буска;  
 10 – корпус; 11 - рабочий инструмент

**Рисунок 6.9 - Пневматический перфоратор**

#### **6.4 Контрольные вопросы**

- 1 Какие преимущества и недостатки имеют пневматические ручные машины?
- 2 Где используются пневматические ручные машины?
- 3 По каким признакам классифицируют пневматические ручные машины?
- 4 Строение и принцип действия прямой и угловой пневматической ручной машины.
- 5 Строение и принцип действия пневматических ножниц.
- 6 Строение и принцип действия пневматических молотков.
- 7 Строение и принцип действия пневматических трамбовок.
- 8 Строение и принцип действия пневматических гайковертов.
- 9 Строение и принцип действия пневматических перфораторов.

## Лекция №7. СПЕЦИАЛЬНЫЕ РУЧНЫЕ МАШИНЫ

### 7.1 Ручные машины с пиротехническим приводом

При выполнении строительно-монтажных работ значительный объем составляют операции прикрепления к стальным, бетонным, кирпичным и деревянным конструкциям различных деталей, оборудования и реконструкция инженерных коммуникаций путем забивания дюбелей или пробивка отверстий в металлоконструкциях и рейках. Эти операции выполняются, как правило, с использованием ручных машин с пиротехническим приводом - пороховых монтажных пистолетов и пиротехнических оправок, принцип действия которых построен на использовании энергии пороховых газов.

Источником энергии являются специальные патроны (рис. 7.1, а), оснащенные бездымным порохом с различными по назначению зарядами. Мощность заряда выбирают в зависимости от прочности и вида строительного фундамента, диаметра и длины дюбеля. Дюбелями-гвоздями (рис. 7.1, б) путем непрерывного забивания прикрепляют к строительным устоям неизменные детали и конструкции. На дюбелях-винтах (рис. 7.1, в) с нарезной головкой гайками закрепляют сменные конструкции и детали. Для центровки и фиксации в стволе инструмента дюбель оснащен полиэтиленовой шайбой. Дюбеля изготавливают из хромистой стали с последующей термической обработкой (твердость  $HRC \geq 50$ ).

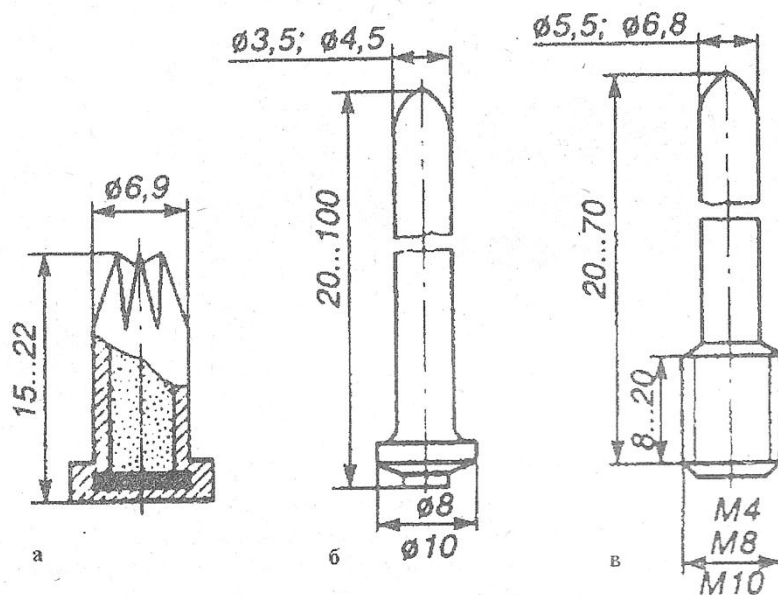
Использование монтажных пистолетов и пиротехнических оправок исключает трудоемкую операцию сверления гнезд и отверстий в конструкциях, а также затрат большого количества дорогих твердосплавных инструментов.

Однозарядный пороховой монтажный пистолет (рис. 7.2) состоит из ствола 7 с патронником 17, поршневой группы, прижима 2, коробки 16 с ударно-спусковым механизмом и рукоятки 14. Переменная поршневая группа состоит из наконечника 3, направляющей 1 с каналом для дюбеля 4 и амортизатора 5. Она смонтирована в муфте 9, которая шарниром 18 соединена с рукояткой 14.

Пистолет комплектуется двумя сменными стволами с длиной патронника 15 и 22 мм и тремя поршневыми группами, которые устанавливаются в пистолет в зависимости от длины и диаметра дюбеля. С пистолетом используют две разные по мощности группы патронов калибра 6,9 мм, длиной 15 мм (группа «К») и 22 мм (группа «Д») [2]. Каждая группа патронов в зависимости от величины порохового заряда и соответственно мощности делится на четыре номера. Патрон каждого номера имеет соответствующий цвет гильзы.

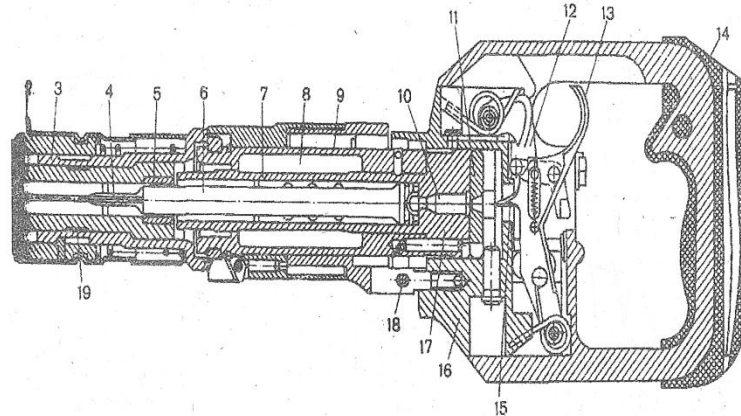
Перед выстрелом устанавливается дюбель 4 с шайбой в канал направляющей. С помощью шомпола перемещают дюбель и поршень до упора, а затем «надламывает» пистолет относительно шарнира 18, вставляют патрон 10 в патронник 17 и закрывают пистолет. Устанавливают наконечник 3 пистолета в точку забивки перпендикулярно к поверхности, нажимают на рукоятку 14 и спусковой рычаг 13. При ударе бойка по патрону загорается порох, расширенные газы по стволу 7 разгоняют поршень 6, который бьет по дюбелю. Разгон поршня до скорости 60 ... 90 м/с под давлением пороховых газов происходит на участке 45 мм, после чего газы через отверстия в стволе 7 выходят в расширительные полости 8 муфты 9.





*а – патрон; б - дюбель-гвоздь; в - дюбель-винт*

**Рисунок 7.1 - Патрон и дюбеля**



*1 – направляющая; 2 – прижим; 3 – наконечник; 4 – дюбель; 5 – амортизатор; 6 – поршень; 7 – ствол; 8 – расширительные полости; 9 – муфта; 10 – патрон; 11 – затвор; 12 – курок; 13 – спусковой рычаг; 14 – рукоятка; 15 – боек; 16 – коробка; 17 – патронник; 18 – шарнир; 19 – стопор*

**Рисунок 7.2 – Пороховой монтажный пистолет**

В дальнейшем движение поршня и дюбеля выполняется по инерции, причем в конечный момент скорость поршня и дюбеля падает до нуля. Если к моменту полного углубления дюбеля поршень продолжает движение, то его полное торможение обеспечивается деформацией упругого амортизатора 5.

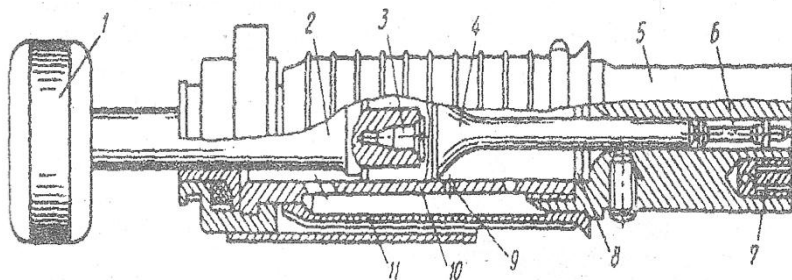
При уменьшении давления на пистолет, под действием пружин затвор и поршневая группа возвращаются в начальное положение. После выстрела пистолет раскрывают, и стреляная гильза вылетает из патронника с помощью экстрактора.

Гарантийная долговечность пистолетов 25 000 выстрелов. Производительность до 50 выстрелов в час, масса 4,6 кг [2].

Пистолеты оснащаются блокирующим устройством, которое исключает случайный выстрел в воздух.

К работе с монтажными пистолетами допускаются лица, прошедшие специальное обучение и получили соответствующее удостоверение. Оператор при работе используют индивидуальные средства защиты.

Пиротехническая оправка (рис. 7.3) конструктивно проще, чем пистолет и состоит из корпуса 10 с кожухом 11 и фланцем 5, зарядного штока 2 с насадкой 1, поршня с ударником.



1 – насадка; 2 – зарядный шток; 3 – патрон; 4 – поршень; 5 – фланец; 6 – дюбель; 7 – магнит; 8 – амортизатор; 9 – выхлопное отверстие; 10 – корпус; 11 – кожух

**Рисунок 7.3 – Пиротехническая оправка**

Патрон 3 вставляют в патронник зарядного штока, а дюбель 6 – в канал фланца корпуса. При ударе молотком по насадке 1 зарядного штока патрон надкалывается ударником штока, и пороховые газы перемещают поршень, который забивает дюбель в фундамент. По мере углубления дюбеля торец поршня открывает выхлопные отверстия 9, и отработанные газы выкидываются в атмосферу. Ход поршня ограничивают лепестковые амортизаторы 9. Магнит 7 обеспечивает удержание стальной детали, что пристреливается, массой до 0,1 кг [2].

Оправка, как и пистолет, так же оснащаются блокировочным устройством, для предотвращения случайного выстрела в воздух.

#### **а. Ручные машины с автономными индивидуальными двигателями**

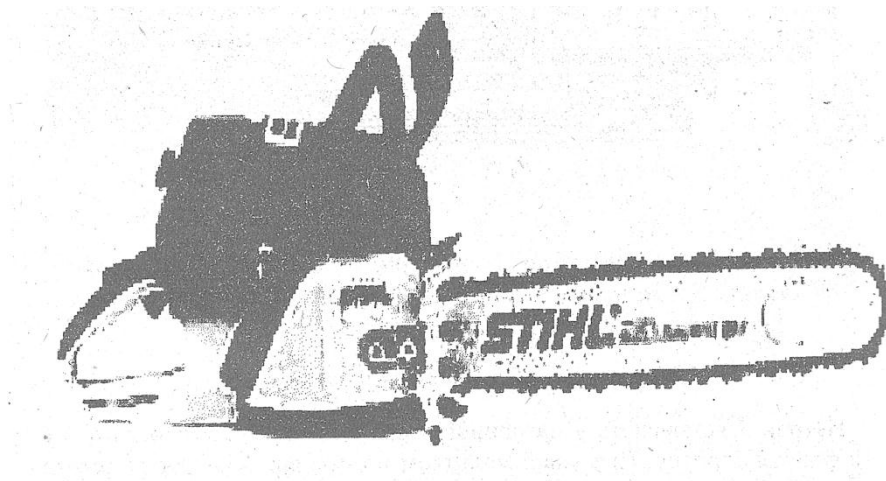
Ручные машины с моторизованным приводом включают в себя перфораторы, цепные пилы, бетоноломы, и трамбовки. В качестве привода в таких машинах используются двигатели внутреннего сгорания.

Ручные машины с автономными индивидуальными двигателями используют для работы при низких температурах или в труднодоступных местах, где отсутствует сеть электрической энергии или сжатый воздух.

Эти машины дают возможность регулировать частоту вращения рабочего органа, имеют меньшую массу в сравнении с ручными электрическими машинами той же мощности и характеризуются низкими эксплуатационными затратами.

Недостатком ручных машин с двигателями внутреннего сгорания являются значительный шум, вибрация во время работы и огнеопасность при работе в закрытых помещениях.

Наибольшее распространение среди этих машин нашли цепные пилы (рис. 7.4), основными узлами в которых являются привод и цепь, которая перемещается относительно направляющих пазов шины.



*Рисунок 7.4 - Общий вид цепной пилы с индивидуальным приводом*

С целью обеспечения необходимого натяжения и плавного движения цепи на переднем конце шины располагается упругое натяжное устройство.

#### **в. Контрольные вопросы**

- 1 При выполнении каких работ применяют ручные машины с пиротехническим приводом?
- 2 Какие типы патронов и дюбелей используются в ручных машинах с пиротехническим приводом?
- 3 Строение и принцип действия порохового монтажного пистолета.
- 4 Строение и принцип действия пиротехнической оправки.
- 5 Какие преимущества и недостатки имеют ручные машины с индивидуальным приводом?
- 6 Строение и принцип действия цепной пилы с индивидуальным приводом.

## **Лекция №8. ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ РУЧНЫХ МАШИН**

### **8.1 Основные положения системы технического обслуживания и ремонта**

Все действующие ручные машины в процессе эксплуатации постепенно теряют свои качественные показатели, а частота отказов в работе увеличивается.

С целью поддержания работоспособности и исправности ручной машины в течение заданного срока ее службы на производственных предприятиях предусматривается планово-предупредительная система, которая включает техническое обслуживание и ремонт.

Система планово-предупредительного технического обслуживания и ремонта представляет собой комплекс организационно-технических мероприятий, которые проводятся по плановым порядкам для обеспечения работоспособности и исправности машины в течение всего срока ее службы при соблюдении заданных условий и режима эксплуатации.

Техническое обслуживание является комплексом операций для поддержания работоспособности или исправности машины при использовании ее по назначению, хранении и транспортировке.

Несмотря на регулярность проведения работ по техническому обслуживанию для любой ручной машины наступает момент, когда дальнейшее ее использование становится технически и экономически нецелесообразным. В этом случае возникает необходимость в проведении ремонтных операций.

Ремонт - это комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности и ресурса машины или ее частей. Специфической особенностью ремонта является то, что он, главным образом, восстанавливает свойства, которые потеряла машина в процессе ее эксплуатации.

При более широком внедрении методов и средств технического диагностирования появляется возможность выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонта не в строго определенное ранее время, а тогда, когда этого требует техническое состояние составных частей машины. В этом случае в плановом порядке осуществляется только контроль за состоянием составляющих частей, а сами работы выполняются при необходимости.

В зависимости от степени восстановления ресурса машины различают текущий, плановый или внеплановый и капитальный ремонты. При текущем ремонте происходит восстановление машины путем замены или восстановлении отдельных ее частей. При капитальном ремонте восстанавливают почти все показатели новой машины, при этом заменяется или восстанавливается большое количество составных частей, включая и базовые детали.

В зависимости от этапа эксплуатации машины различают следующие виды технического обслуживания: при эксплуатационной обкатке, транспортировке, хранении и использовании.

В свою очередь, техническое обслуживание при использовании разделяют на ежесменное, сезонное и периодическое (плановое).

Ежесменное техническое обслуживание проводят перед началом рабочей смены машины, в течение и в конце ее.

Сезонное техническое обслуживание необходимо для подготовки машины к предстоящему сезону эксплуатации. Его, как правило, совмещают с очередным плановым техническим обслуживанием.

## 8.2 Техническое обслуживание основных узлов ручных машин

Техническое обслуживание выполняется после наработки определенного времени (около 50...100 часов), которое устанавливается заводами - производителями продукции.

Если электродвигатель находится в исправном состоянии, то он должен работать плавно, без чрезмерного перегрева и шума. Показателем его неисправности является уменьшение сопротивления изоляции обмоток, которое зависит от влажности окружающей среды. Электродвигатель с сопротивлением меньше допустимой нормы (ниже 0,5 МОм) должен быть заменен. Электродвигатель, который имеет повышенную влажность, необходимо просушить.

При работе электродвигателя в результате истирания контактных колец и щеток накапливается мелкая металлическая пыль, которая оседает на поверхности изоляции контактных колец и щеткодержателя, что может привести к короткому замыканию. Во избежание такого явления контактные кольца и щетки держателя протирают сухой чистой тканью. Грязь и жир с поверхности контактных колец удаляется тканью, смоченной бензином. Поверхность контактных колец должна быть чистой и гладкой. При работе двигатель должен работать без искрения. Очень изношенные щетки заменяют с последующей притиркой их к контактным кольцам.

Смазку подшипников электродвигателя заменяют через 6 ... 12 месяцев, а пополнение осуществляется через 3...6 месяцев. Перед заполнением подшипникового узла свежим маслом его следует промыть в бензине.

В процессе эксплуатации пускорегулирующая аппаратура окисляется, контакты подгорают, ослабляются пружины, изнашиваются части, которые трутся. В некоторых случаях может быть пробой изоляции. При осмотре состояния пускорегулирующей аппаратуры ее протирают, зачищают подгоревшие контакты, регулируют усилия нажатия контактов и пружин.

В передаточных механизмах в результате износа и смятия сопряженных поверхностей происходит нарушение первоначального регулирования, что приводит к росту шума и динамическим нагрузкам. Поэтому при техническом осмотре передаточных механизмов следует большое внимание уделять состоянию опорных узлов (подшипников) и наличию смазочного материала. Нормальная работа подшипников качения характеризуется незначительным и ровным шумом, легкостью хода и отсутствием заедания. Осевые зазоры должны обеспечивать правильное положение тел качения относительно рабочих элементов колец подшипника. При необходимости положение подшипников регулируется с помощью прокладок, колец, нажимных планок, гаек или винтовых упоров.

Зубчатые передачи работают, как правило, в тяжелых эксплуатационных условиях. Нагрузки, передаваемые ими, имеют, как правило, переменную величину и направленность. Ударный характер нагрузок приводит к износу боковых поверхностей зубьев колеса и шестерни и увеличению бокового зазора между ними.

Нормальная работа зубчатых передач характеризуется следующими признаками:

- нагрузки передаются плавно, при этом наблюдается легкий шум;
- отсутствует заметное торцевое и радиальное биение зубьев колеса и шестерни;
- контакт зубьев колеса происходит симметрично оси шестерни;
- на поверхности зубьев отсутствуют повреждения (царапины, смятие и др.);
- радиальные и боковые зазоры не выходят за пределы норм, установленных техническими условиями.

техническими условиями.

При необходимости боковые зазоры регулируются установкой вспомогательных прокладок в конических передачах и изменением межцентрового расстояния цилиндрических передач.

Техническое обслуживание ручных электрических машин производится в соответствии с рекомендациями заводов-изготовителей. Периодическое смазывание узлов ручных машин должно проводиться по карте смазки, которая прикладывается к паспорту

машины, при этом в масло не должны включаться посторонние примеси и механические включения.

Периодическое техническое обслуживание пневматических машин производится через 200 часов работы и включает промывку, смазку и регулирование частоты вращения. После проверки работы машины на холостом ходу проводится дополнительный контроль вибрационных параметров и шумовых характеристик, который проводится в специально оснащенных лабораториях.

### **8.3 Техника безопасности при эксплуатации ручных машин**

Систему организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих влияние на работающих опасных производственных факторов, называют техникой безопасности.

С целью предотвращения или уменьшения влияния опасных и вредных факторов рабочие должны быть обеспечены индивидуальными или коллективными средствами защиты, поскольку вопрос охраны жизни и здоровья работников является первоочередным принципом организации производства.

К выполнению работ, связанных с эксплуатацией или ремонтом ручного механизированного инструмента, допускается только специально обученный персонал, имеющий удостоверение на право выполнения данных работ и соответствует правилам и нормам по состоянию здоровья и возраста.

При эксплуатации и ремонте электрических, пневматических и других видов ручных машин необходимо строго соблюдать правила безопасности. Придерживаться производственной дисциплины, выполнение правил безопасности каждым работником - основное условие предупреждения несчастных случаев на производстве.

Анализ производственного травматизма показывает, что около 40% всех несчастных случаев происходит при техническом обслуживании ручных машин [13]. Основными причинами, которые приводят к травматизму, являются слабые знания или пренебрежение основными правилами безопасности, загрязнение рабочих мест и производственных помещений, использование неразрешенных средств работы или работа с неисправным инструментом и оборудованием. К работе допускаются только полностью исправные ручные машины.

Ответственность за выполнение требований техники безопасности при эксплуатации ручных машин возлагается на организацию, на балансе которой они находятся, а за соблюдение требований безопасности при выполнении работ - организация, выполняющая такие работы.

При использовании ручных машин необходимо соблюдать санитарные требования по продолжительности и интенсивности вибрационного воздействия. Для защиты рук необходимо использовать виброзащитные перчатки.

Уровень шума не должен превышать установленных санитарных норм. Для защиты обслуживающего персонала от шума следует использовать специальные противошумные наушники.

При обработке различных материалов (металл, камень и др.). Образуются металлическая стружка и пыль. Стружка может вызвать порезы рук, лица, а также ожоги. Пыль, которая образуется в результате сухого шлифования металла, содержит кремниевую кислоту, которая отрицательно действует на дыхательные органы. Поэтому при выполнении таких работ следует использовать защитные очки и хлопчатобумажные повязки.

При выполнении профилактических работ зачастую используют материалы, содержащие керосин, мыльные растворы, щелочи и минеральные масла, что приводит к появлению на руках трещин и их воспаление. С целью предотвращения таких явлений используют резиновые перчатки.

При работе с ручными электрическими машинами для защиты от поражения электрическим током необходимо применять диэлектрические резиновые перчатки, галоши и коврики. Они не должны иметь проколов, трещин, должны быть чистыми и храниться в нерабочее время в шкафу, отдельно от инструмента.

Корпуса ручных электрических машин, питающихся от сети переменного тока напряжением более 42 В, должны быть заземлены. Включение ручной машины в сеть должно выполняться с помощью специальной вилки и розетки. При работе с электрическими машинами следует надевать резиновые перчатки.

Перед работой следует внимательно проверять исправность машины, надежность крепления рабочей насадки и режущего инструмента.

При смене рабочего места или временном перерыве в работе ручная электрическая машина должна быть отключена от питающей сети.

Запрещается вставлять в шпиндель или вынимать из него рабочий орган при включенной машине. Запрещается также работа ручными машинами с приставных лестниц.

Новые пневматические ручные машины должны быть опробованы в работе опытным специалистом. Перед соединением ручной машины с питающей сетью она должна быть очищена от пыли и грязи и продута сжатым воздухом, а затем проверена на герметичность.

Перед началом работы необходимо проверить надежность крепления рабочего инструмента. Замену рабочего инструмента необходимо выполнять после остановки машины и ее отключения от питающей сети. При завершении работы сначала закрывают доступ воздуха в машину, а затем отделяют ее от сети сжатого воздуха.

Компрессоры, питающие сеть, должны быть ограждены и заземлены. Запрещается эксплуатация компрессора при неисправности манометра или отсутствии на нем пломб.

Не допускаются к работе ручные машины с индивидуальным приводом, в которых выбрасываются газы с повышенным содержанием оксида углерода. Запрещается также эксплуатация ручных машин, с течкой топлива, масел и рабочей жидкости.

К работе строительно-монтажными пистолетами допускаются лица, прошедшие медицинский осмотр и специальный курс обучения, сдали экзамены и получили свидетельство на право использования пистолетов. Строительно-монтажные пистолеты, патроны и гильзы должны храниться в отдельном, специально предназначенном для этого месте.

#### **8.4 Контрольные вопросы**

1 Что включает система планово-предупредительного технического обслуживания и ремонта ручных машин?

2 Что понимают под термином «ремонт машины»?

3 Какие виды ремонта и технического обслуживания выполняют при эксплуатации ручных машин?

4 Как проводится техническое обслуживание основных узлов ручных электрических машин: электродвигателя, передаточных механизмов, пускорегулирующей аппаратуры?

5 Какие меры и средства включают в технику безопасности?

6 Какие работники допускаются к выполнению работ, связанных с эксплуатацией или ремонтом ручного механизированного инструмента?

7 Кто отвечает за выполнение требований техники безопасности при эксплуатации ручных машин и за соблюдение требований безопасности труда при выполнении работ?

8 Какие средства необходимо использовать при эксплуатации ручных машин с повышенным уровнем шума и вибрации?

9 Какие средства необходимо использовать при работе с ручными электрическими машинами для защиты от поражения электрическим током?

- 10 Основные правила безопасности при работе с пневматическими ручными машинами.
- 11 Основные правила безопасности при работе с монтажными пистолетами.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Баладинський, В.Л.** Будівельна техніка : навч. посібник / В. Л. Баладинський [та ін.]. - К. : Либідь, 2001. — 368 с. - ISBN 966-06- 0067-4.
- 2 **Добронравов, С.С.** Строительные машины и основы автоматизации : учеб. для строит, вузов / С. С. Добронравов, В. Г. Дронов. - М. : Высшая школа, 2001.-575 с. - ISBN 5-06-003857-2.
- 3 **Мартынов, В.Д.**Строительные машины и монтажное оборудование : учеб. для вузов / В. Д. Мартынов, Н. И. Алешин, Б. П. Морозов. - М.: Машиностроение, 1990. - 352 с.: ил. – ISBN 5-217-01088-6.
- 4 **Онищенко, О.Г.** Будівельна техніка : навч. посібник / О. Г. Онищенко, В« М. Помазан. - К. : Урожай, 1999, - 304 с.: ил. - ISBN 966-05- 0015-7.
- 5 **Китаев, В.Е.**Электротехника оснoвами промышленной электроники : учеб. / В.Е. Китаев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа. 1985.-224 с.: ил.
- 6 **Боровских, Ю.И.**Электрооборудование подъемно-транспортных машин : учеб. / Ю.И. Боровских, Б. П. Бусыгин. - 2-е изд., перераб. и доп. ~ М. : Машиностроение, 1979. - 184 с.: ил.
- 7 **Севрюгин, В.И.** Ручные машины / В. И. Севрюгин, И. Л. Черкасова, В. В. Социлов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1982. - 231 с. : ил.
- 8 **Торопцев, Н.Д.**Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором У Н. Д. Торопцев. -4-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1988. - 95 с. - ISBN 5-283-01052-X.
- 9 **Попович, М.Г.** Електричні машини та електропривод побутової техніки : підручник / М. Г. Попович [та ін.] ; за ред. Д. Б. Головка, М. Г. Поповича. - 2-ге вид., стереотип. . - К. : Либідь, 2004. - 352 с. - ISBN 966-06-0336-3.
- 10 **Павлище, ВЛ.** Основи конструювання та розрахунок деталей машин: підручник / В. Л. Павлище. - 2-ге вид., перероб. - Львів : Афіша, 2003. - 560 с, - ISBN 966-8013-58-1.
- 11 **Гоberman, Л.А.**Теория, конструкция и расчет строительных и дорожных машин : учеб. / Л. А. Гоberman, К. В. Степанян, А. А. Яркин, В. С; Зеленский ; под. ред. Л.А. Гоbermana. - М. : Машиностроение, 1979. -407 с.
- 12 **Чернавский, С.А.** Проектирование механических передач : уч.-спр. пособие / С. А. Чернавский [и др.]. - 5-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1984. - 560 с.
- 13 **Пфуль, Б.Е.** Эксплуатация и ремонт средств малой механизации в строительстве : справ, / Б. Е. Пфуль. - М. : Стройиздат, 1982. - 303 с.