

Министерство образования Республики Беларусь
Филиал БНТУ
«Минский государственный политехнический колледж»

Электронное учебно-методическое пособие
по учебной дисциплине

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ
ПРОМЫШЛЕННЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК**

для специальности
2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

Минск 2019

Автор:

Бачило Т.В.

Рецензент:

Гульков Г.И., доцент кафедры «ЭАПУ и ТК» БНТУ, к. т. н., доцент

Учебно-методическое пособие предназначено для самостоятельного и дистанционного изучения учебной дисциплины «Основы проектирования и расчета автоматизированных электроприводов промышленных и транспортных установок» учащимися специальности 2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы». В учебно-методическом пособии представлен теоретический и практический материал, а также материал, обеспечивающий контроль знаний для проведения текущей аттестации.

Белорусский национальный технический университет.
Филиал БНТУ “Минский государственный политехнический колледж”.
пр - т Независимости, 85, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: (017) 292-13-42 Факс: 292-13-42
E-mail: mgpk@bntu.by, mgpkby@mail.ru
<http://www.mgpk.bntu.by>
Регистрационный № ЭИ БНТУ/МГПК – 08.2019

© БНТУ, 2019
© Бачило Т.В., 2019

Содержание

Содержание	3
1 Пояснительная записка	4
2 Выписка из учебного плана	6
3 Междисциплинарные связи	7
4 Учебная программа учебной дисциплины	8
4.1 Тематический план	9
4.2 Содержание программы	10
4.3 Критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся.....	19
5 Существенные и несущественные ошибки	22
6 Перечень разделов и тем учебной программы.....	24
7 Теоретический материал по темам учебной программы	27
8 Практический материал	64
8.1 Дидактическое обеспечение.....	64
8.2 Материалы для расчетов.....	65
9 Самоконтроль знаний	77
9.1 Вопросы к обязательной контрольной работе №1	77
9.2 Тест по учебной дисциплине.....	80
10 Перечень учебных изданий и информационно-аналитических материалов, рекомендуемых для изучения учебной дисциплины.....	83

1 Пояснительная записка

Учебная дисциплина «Основы проектирования и расчета автоматизированных электроприводов промышленных и транспортных установок» ставит своей целью приобретение учащимися знаний об электроприводах типовых производственных механизмов, о порядке расчета и выбора их основных элементов, аппаратов защиты, проводов и кабелей, разработке и оформлении конструкторской документации, а также энерго- и ресурсосбережении в промышленных организациях.

Изучение программного учебного материала базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных учащимися в ходе изучения таких учебных дисциплин, как «Системы автоматического управления электроприводами», «Основы электропривода», «Электрические машины», «Электрические аппараты», «Силовая преобразовательная техника», «Информационные технологии».

Для закрепления теоретического материала и формирования у учащихся необходимых умений и навыков программой предусмотрено проведение практических занятий. Форма проведения практических занятий по темам определяется преподавателем исходя из цели обучения и содержания учебного материала.

Для контроля усвоения программного учебного материала предусмотрено проведение одной обязательной контрольной работы.

Программой определены цели изучения каждой темы, спрогнозированы результаты их достижения в соответствии с уровнями усвоения учебного материала.

В результате изучения учебной дисциплины учащиеся *должны знать на уровне представления:*

- основные направления развития и пути совершенствования автоматизированных электроприводов;
- общие цели и задачи автоматизации производственных и технологических процессов;
- классификацию общепромышленных установок;
- общие требования к электроприводам общепромышленных установок;
- основные вопросы энерго- и ресурсосбережения.

знать на уровне понимания:

- устройство и классификацию различных промышленных и транспортных установок (грузоподъемных кранов, лифтов, конвейеров, вентиляторов, насосов, металлорежущих станков и др.);

- требования к электроприводам различных промышленных и транспортных установок;
- системы электроприводов различных промышленных и транспортных установок;
- порядок расчета мощности электродвигателей промышленных механизмов при различных режимах работы;
- порядок расчёта и выбора устройств управления и аппаратов защиты электроприводов;
- виды конструкторских документов;
- правила выполнения электрических схем электроприводов.

уметь:

- рассчитывать статические нагрузки и выполнять построение нагрузочных диаграмм механизмов различных промышленных и транспортных установок;
- выполнять расчет мощности, выбор и проверку электродвигателей промышленных и транспортных установок;
- выполнять расчет и построение механических характеристик электродвигателей;
- выполнять расчет и выбор пускорегулирующей аппаратуры для электроприводов;
- выполнять расчет и выбор аппаратов защиты, проводов и кабелей.

В программе приведены примерные критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся по учебной дисциплине, которые разработаны на основе десятибалльной шкалы и показателей оценки результатов учебной деятельности обучающихся в учреждениях среднего специального образования (постановление Министерства образования Республики Беларусь от 29.03.2004 № 17).

Учебная программа разработана на основании примерного тематического плана, утвержденного вместе с типовым учебным планом специализации №56 РБ ст. № 640/639 Д/тип. спец.01 от 09.06.2015.

2 Выписка из учебного плана

специальности 2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»
специализации 2-53 01 05 01 «Автоматизированный электропривод
промышленных и транспортных
установок»

утвержденного Министерством образования Республики Беларусь
09.06.2015 № 56 РБ ст.№640/639 Д/тип. спец.01

Учебная дисциплина «Основы проектирования и расчета автоматизированных электроприводов промышленных и транспортных установок» изучается на протяжении одного семестра на 4 курсе.

Виды работ	Количество часов, 7-ой семестр
Всего часов	80
Из них: практических занятий	24
лабораторных работ	-
курсовое проектирование	-
Количество: тематических контрольных работ	3
обязательных контрольных работ	1

3 Междисциплинарные связи

«Электрические аппараты»

«Электрические машины»

«Основы электропривода»

«Системы автоматического управления электроприводами»

«Силовая преобразовательная техника»

«Технологическое и вспомогательное оборудование»

«Информационные технологии»

«Охрана труда»

4 Учебная программа учебной дисциплины

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Минский государственный политехнический колледж»

СОГЛАСОВАНО
Заместитель директора
по учебной работе

(подпись) (расшифровка подписи)
« _____ » _____ 20__ г

УТВЕРЖДАЮ
Директор колледжа

(подпись) (расшифровка подписи)
« _____ » _____ 20__ г

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК

Учебная программа по специальности
2 – 53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

Разработчик

Т.В. Бачило

Рецензент

В.А. Горюнова

Программа рассмотрена и рекомендована к
утверждению на:

- заседании цикловой комиссии спецдисциплин
специальностей 2-37 01 05, 2-53 01 05

Протокол № _____ от _____ » _____ 20__ г.

Председатель комиссии _____ А.Л.Седюкова

- заседании экспертного методического совета

Протокол № _____ от « _____ » _____ 20__ г.

2014

4.1 Тематический план

Раздел, тема	Количество учебных часов	
	Всего	В том числе на практические занятия
1	2	3
Введение	2	
Раздел 1 Электроприводы (ЭП) типовых производственных механизмов	18	
1.1 ЭП подъемно-транспортных механизмов	6	
1.2 ЭП турбомеханизмов	4	
1.3 ЭП металлорежущих станков	8	
Раздел 2 Расчет элементов электроприводов	48	24
2.1 Расчет, выбор и проверка электродвигателей	8	
2.2 Расчет и построение механических характеристик электродвигателей	4	
2.3 Расчет и выбор пускорегулирующей аппаратуры	14	8
<i>Практические занятия</i>		8
Расчет и выбор элементов ЭП подъемно-транспортных механизмов		
2.4 Расчет и выбор аппаратов защиты и токоведущих частей	22	16
<i>Практические занятия</i>		8
Расчет и выбор элементов ЭП турбомеханизмов		
<i>Практические занятия</i>		8
Расчет и выбор элементов ЭП металлорежущих станков		
Раздел 3 Составление и оформление конструкторской документации	8	
3.1 Проектирование конструктивных чертежей электрооборудования промышленных и транспортных установок	2	
3.2 Проектирование схем электрических принципиальных	2	
3.3 Проектирование схем электрических соединений	2	
3.4 Проектирование схем электрических подключения	1	
Обязательная контрольная работа	1	
Раздел 4 Энергосбережение и ресурсосбережение	4	
4.1 Основные вопросы энерго- и ресурсосбережения	2	
4.2 Мероприятия по энергосбережению и ресурсосбережению в промышленных организациях	2	
Итого	80	24

4.2 Содержание программы

Цели изучения темы	Содержание темы	Результат
Введение		
Ознакомить с целями и кратким содержанием дисциплины. Сформировать представление о классификации общепромышленных установок, общих требованиях к ЭП. Дать понятие о последовательности проектирования ЭП.	Цели дисциплины, её краткое содержание. Классификация общепромышленных установок. Общие требования к электроприводам (ЭП). Последовательность проектирования ЭП.	Высказывает общие суждения о целях и содержании дисциплины, классификации общепромышленных установок. Перечисляет общие требования к ЭП. Объясняет последовательность проектирования ЭП.
Раздел 1 ЭП типовых производственных механизмов		
Тема 1.1 ЭП подъемно-транспортных механизмов		
Сформировать представление о грузоподъёмных кранах. Дать понятие об их классификации и устройстве. Сформировать знания о требованиях к ЭП крановых механизмов и типовых схемах ЭП кранов.	Грузоподъёмные краны. Классификация и устройство. Требования к ЭП крановых механизмов. Типовые схемы ЭП кранов.	Высказывает общее суждение о грузоподъёмных кранах. Объясняет классификацию и устройство грузоподъёмных кранов. Формулирует требования к ЭП крановых механизмов. Описывает типовые схемы ЭП кранов.
Дать понятие о назначении, устройстве и классификации лифтов. Сформировать знания о требованиях к ЭП лифтов и типовых схемах ЭП лифтов.	Назначение, устройство и классификация лифтов. Требования к ЭП лифтов. Типовые схемы ЭП лифтов.	Объясняет назначение, устройство и классификацию лифтов. Формулирует требования к ЭП лифтов. Описывает типовые схемы ЭП лифтов.

<p>Дать понятие о назначении, устройстве и классификации конвейеров. Сформировать знания о требованиях к ЭП конвейеров и типовых схемах ЭП конвейеров.</p>	<p>Назначение, устройство и классификация конвейеров. Требования к ЭП конвейеров. Типовые схемы ЭП конвейеров.</p>	<p>Объясняет назначение, устройство и классификацию конвейеров. Формулирует требования к ЭП конвейеров. Описывает типовые схемы ЭП конвейеров.</p>
<p>Тема 1.2 ЭП турбомеханизмов</p>		
<p>Дать понятие о назначении, устройстве и классификации турбокомпрессоров, вентиляторов, насосов. Дать понятие о Q-N-характеристиках механизмов центробежного типа и способах регулирования производительности турбомеханизмов. Сформировать знания о типовых схемах турбомеханизмов.</p>	<p>Назначение, устройство и классификация турбокомпрессоров, вентиляторов, насосов. Q-N-характеристики механизмов центробежного типа. Регулирование производительности турбомеханизмов. Типовые схемы ЭП турбомеханизмов.</p>	<p>Объясняет назначение, устройство и классификацию турбокомпрессоров, вентиляторов, насосов. Описывает Q-N-характеристики механизмов центробежного типа. Объясняет способы регулирования производительности турбомеханизмов. Описывает типовые схемы ЭП турбомеханизмов.</p>
<p>Тема 1.3 Электроприводы металлорежущих станков</p>		
<p>Дать понятие о назначении и классификации металлорежущих станков, видах механических передач в станках.</p>	<p>Назначение и классификация металлорежущих станков. Механические передачи в станках.</p>	<p>Объясняет назначение и классификацию металлорежущих станков. Описывает виды механических передач в станках.</p>

<p>Дать понятие о назначении и устройстве токарных станков. Сформировать знания о требованиях к ЭП токарных станков. Сформировать знания о типовых схемах ЭП токарных станков.</p>	<p>Назначение и устройство токарных станков. Требования к ЭП токарных станков. Типовые схемы ЭП токарных станков.</p>	<p>Объясняет назначение и устройство токарных станков. Формулирует требования к ЭП токарных станков. Описывает типовые схемы ЭП токарных станков.</p>
<p>Дать понятие о назначении и устройстве сверлильных, расточных и фрезерных станков. Сформировать знания о требованиях к ЭП сверлильных, расточных и фрезерных станков. Сформировать знания о типовых схемах ЭП сверлильных, расточных и фрезерных станков.</p>	<p>Назначение и устройство сверлильных, расточных и фрезерных станков. Требования к ЭП сверлильных, расточных и фрезерных станков. Типовые схемы ЭП сверлильных, расточных и фрезерных станков.</p>	<p>Объясняет назначение и устройство сверлильных, расточных и фрезерных станков. Формулирует требования к ЭП сверлильных, расточных и фрезерных станков. Описывает типовые схемы ЭП сверлильных, расточных и фрезерных станков.</p>
<p>Дать понятие о назначении и устройстве шлифовальных и продольно-строгальных станков. Сформировать знания о требованиях к ЭП шлифовальных и продольно-строгальных станков. Сформировать знания о типовых схемах ЭП шлифовальных и продольно-строгальных станков</p>	<p>Назначение и устройство шлифовальных и продольно-строгальных станков. Требования к ЭП шлифовальных и продольно-строгальных станков. Типовые схемы ЭП шлифовальных и продольно-строгальных станков.</p>	<p>Объясняет назначение и устройство сверлильных, расточных и фрезерных станков. Формулирует требования к ЭП сверлильных, расточных и фрезерных станков. Описывает типовые схемы ЭП сверлильных, расточных и фрезерных станков.</p>
<p>Раздел 2 Расчет элементов ЭП</p>		
<p>Тема 2.1 Расчет, выбор и проверка электродвигателей (ЭД)</p>		

Сформировать знания о порядке расчета статических нагрузок и построении нагрузочных диаграмм промышленных механизмов.	Расчет статических нагрузок и построение нагрузочных диаграмм промышленных механизмов.	Объясняет порядок расчета статических нагрузок и построения нагрузочных диаграмм промышленных механизмов.
Сформировать знания о порядке расчета мощности ЭД промышленных механизмов при различных режимах работы, выполнении выбора двигателя по каталогу.	Расчет мощности электродвигателей промышленных механизмов при различных режимах работы. Выбор ЭД по каталогу.	Объясняет порядок расчета мощности электродвигателей промышленных механизмов при различных режимах работы, выполняет выбор двигателя по каталогу.
Сформировать знания о порядке проверки ЭД промышленных механизмов по условиям нагрева, пуска и перегрузочной способности.	Проверка ЭД промышленных механизмов по условиям нагрева, пуска и перегрузочной способности.	Объясняет порядок проверки ЭД промышленных механизмов по условиям нагрева, пуска и перегрузочной способности.
Тема 2.2 Расчет и построение механических характеристик ЭД		
Сформировать знания о порядке расчета и построения механических характеристик двигателей постоянного тока при различных способах регулирования скорости.	Расчет и построение механических характеристик двигателей постоянного тока при различных способах регулирования скорости.	Объясняет порядок расчета и построения механических характеристик двигателей постоянного тока при различных способах регулирования скорости.
Сформировать знания о порядке расчета и построения механических характеристик асинхронных двигателей при различных способах регулирования скорости.	Расчет и построение механических характеристик асинхронных двигателей при различных способах регулирования скорости.	Объясняет порядок расчета и построения механических характеристик асинхронных двигателей при различных способах регулирования скорости.

Тема 2.3 Расчет и выбор пускорегулирующей аппаратуры		
Сформировать знания о порядке расчета сопротивлений пусковых и тормозных резисторов.	Расчет сопротивлений пусковых и тормозных резисторов.	Объясняет порядок расчета сопротивлений пусковых и тормозных резисторов.
Сформировать знания о параметрах выбора силовых полупроводниковых преобразователей, полупроводниковых пусковых устройств и электрических аппаратов.	Выбор силовых полупроводниковых преобразователей. Выбор полупроводниковых пусковых устройств. Выбор электрических аппаратов.	Описывает параметры выбора силовых полупроводниковых преобразователей, полупроводниковых пусковых устройств и электрических аппаратов.
Дать понятие о назначении, составе и классификации комплектных ЭП.	Назначение, состав и классификация комплектных ЭП.	Объясняет назначение, состав и классификацию комплектных ЭП.
<i>Практическая работа №1</i> Расчет и выбор элементов ЭП подъёмно-транспортных механизмов (ПТМ).		
Сформировать умение выполнять расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы ПТМ.	1.1 Расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы ПТМ.	Рассчитывает статические нагрузки и выполняет построение нагрузочной диаграммы ПТМ.
Сформировать умение выполнять расчет мощности, выбор и проверку ЭД ПТМ	1.2 Расчёт мощности, выбор и проверка ЭД ПТМ.	Выполняет расчет мощности, выбор и проверку ЭД ПТМ.
Сформировать умение выполнять расчет и построение механических характеристик ЭД ПТМ.	1.3 Расчет и построение механических характеристик ЭД ПТМ.	Выполняет расчет и построение механических характеристик ЭД ПТМ.
Сформировать умение выполнять расчет и выбор пускорегулирующей аппаратуры для ЭП ПТМ.	1.4 Расчет и выбор пускорегулирующей аппаратуры для ЭП ПТМ.	Выполняет расчет и выбор пускорегулирующей аппаратуры для ЭП ПТМ.

Тема 2.4 Расчет и выбор аппаратов защиты и токоведущих частей		
Сформировать знания о схемах защит ЭД.	Схемы защит ЭД (тепловая, максимально-токовая, от работы на двух фазах, от перенапряжения на обмотке возбуждения двигателей постоянного тока и др.)	Объясняет схемы защит ЭД.
Сформировать знания о порядке расчета и выборе аппаратов максимально-токовой и тепловой защиты. Дать понятие о селективности защиты.	Расчет и выбор аппаратов максимально-токовой защиты (предохранителей, автоматических выключателей, реле максимального тока). Расчет и выбор аппаратов тепловой защиты. Селективность защиты.	Объясняет порядок расчета аппаратов максимально-токовой и тепловой защиты, выполняет их выбор. Раскрывает понятие селективности защиты.
Сформировать знания о порядке расчета и выборе проводов и кабелей для силовых цепей ЭД.	Расчет и выбор проводов и кабелей для силовых цепей ЭД.	Объясняет порядок расчета проводов и кабелей для силовых цепей ЭД, выполняет их выбор.
<i>Практическая работа №2</i> Расчет и выбор элементов ЭП турбомеханизмов		
Сформировать умение выполнять расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы турбомеханизмов.	2.1 Расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы турбомеханизмов.	Рассчитывает статические нагрузки и выполняет построение нагрузочной диаграммы турбомеханизмов.
Сформировать умение выполнять расчет мощности, выбор и проверку ЭД турбомеханизмов.	2.2 Расчёт мощности, выбор и проверка ЭД турбомеханизмов.	Выполняет расчет мощности, выбор и проверку ЭД турбомеханизмов.

Сформировать умение выполнять расчет и выбор аппаратов защиты.	2.3 Расчет и выбор аппаратов защиты.	Выполняет расчет и выбор аппаратов защиты.
Сформировать умение выполнять расчет и выбор проводов и кабелей.	2.4 Расчет и выбор проводов и кабелей.	Выполняет расчет и выбор проводов и кабелей.
<i>Практическая работа №3</i> Расчет и выбор элементов ЭП металлорежущих станков		
Сформировать умение выполнять расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы механизмов главного движения металлорежущих станков.	3.1 Расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы механизмов главного движения металлорежущих станков.	Рассчитывает статические нагрузки и выполняет построение нагрузочной диаграммы механизмов главного движения металлорежущих станков.
Сформировать умение выполнять расчет мощности, выбор и проверку ЭД главного движения металлорежущих станков.	3.2 Расчет мощности, выбор и проверка ЭД главного движения металлорежущих станков.	Выполняет расчет мощности, выбор и проверку ЭД главного движения металлорежущих станков.
Сформировать умение выполнять расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы механизмов подачи металлорежущих станков.	3.3 Расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы механизмов подачи металлорежущих станков.	Рассчитывает статические нагрузки и выполняет построение нагрузочной диаграммы механизмов подачи металлорежущих станков.
Сформировать умение выполнять расчет мощности, выбор и проверку ЭД подачи металлорежущих станков.	3.4 Расчет мощности, выбор и проверка ЭД подачи металлорежущих станков.	Выполняет расчет мощности, выбор и проверку ЭД подачи металлорежущих станков.
Раздел 3 Составление и оформление конструкторской документации		
Тема 3.1 Проектирование конструктивных чертежей электрооборудования промышленных и транспортных установок		
Дать понятие об общих положениях Единой системы конструкторской документации и видах конструкторских	Общие положения Единой системы конструкторской документации. Виды конструкторских документов. Виды и	Излагает общие положения Единой системы конструкторской документации. Различает виды

документов. Дать понятие о видах и типах схем. Сформировать знания о правилах выполнения схем расположения электрооборудования на общем виде установки.	типы схем. Правила выполнения схем расположения электрооборудования на общем виде установки.	конструкторских документов. Объясняет правила выполнения схем расположения электрооборудования на общем виде установки.
Тема 3.2 Проектирование схем электрических принципиальных		
Сформировать знания о назначении, особенностях и правилах выполнения схем электрических принципиальных.	Назначение, особенности и правила выполнения схем электрических принципиальных.	Объясняет назначение, особенности и правила выполнения схем электрических принципиальных.
Тема 3.3 Проектирование схем электрических соединений		
Сформировать знания о назначении, особенностях и правилах выполнения схем электрических соединений.	Назначение, особенности и правила выполнения схем электрических соединений.	Объясняет назначение, особенности и правила выполнения схем электрических соединений.
Тема 3.4 Проектирование схем электрических подключения		
Сформировать знания о назначении, особенностях и правилах выполнения схем электрических подключений.	Назначение, особенности и правила выполнения схем электрических подключений.	Объясняет назначение, особенности и правила выполнения схем электрических подключений.
<i>Обязательная контрольная работа №1</i>		
Раздел 4 Энергосбережение и ресурсосбережение		
Тема 4.1 Основные вопросы энерго- и ресурсосбережения		
Сформировать представление об энерго- и ресурсосбережении, производстве электроэнергии в РБ. Сформировать знания о потерях в ЭП.	Понятия энерго- и ресурсосбережения. Производство электроэнергии в РБ. Потери в ЭП.	Высказывает общие суждения об энерго- и ресурсосбережении, производстве электроэнергии в РБ. Описывает потери в ЭП.

Тема 4.2 Мероприятия по энергосбережению и ресурсосбережению на промышленных предприятиях		
Сформировать знания о способах энергосбережения средствами ЭП. Дать понятие о регулируемом ЭП, как средстве энергосбережения в технологических процессах. Сформировать представление о ресурсосбережении на промышленных предприятиях.	Энергосбережение средствами ЭП. Регулируемый ЭП, как средство энергосбережения в технологических процессах. Ресурсосбережение на промышленных предприятиях.	Объясняет способы энергосбережения средствами ЭП. Описывает регулируемый ЭП, как средство энергосбережения в технологических процессах. Высказывает общее суждение о ресурсосбережении на промышленных предприятиях.

4.3 Критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся

Отметка в баллах	Показатели оценки
1 (один)	Узнавание отдельных объектов изучения программного материала, предъявленных в готовом виде (внешнего вида общепромышленных установок, аппаратов защиты ЭД, нагрузочных диаграмм механизмов; специальных терминов, понятий, определений и т.д.).
2 (два)	Различение объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (внешнего вида станков и турбомеханизмов, механических характеристик двигателей постоянного и переменного тока, аппаратов защиты ЭД, нагрузочных диаграмм механизмов, электрических схем ЭП); осуществление соответствующих практических действий (выполнение расчета мощности ЭД для различных режимов работы, характерных точек механических характеристик ЭД и т.д.).
3 (три)	Воспроизведение части программного материала по памяти (фрагментарный пересказ классификации грузоподъемных кранов, лифтов, конвейеров, металлорежущих станков; фрагментарное перечисление требований к ЭП различных производственных механизмов, узнавание систем ЭП общепромышленных установок); осуществление умственных и практических действий по образцу (расчет и построение механических характеристик ЭД, расчет и выбор аппаратов защиты ЭД).
4 (четыре)	Воспроизведение большей части программного учебного материала (описание с элементами объяснения ЭП, назначения, принципа действия, требований, предъявляемых к ЭП различных производственных механизмов и т.д.; описание порядка расчета и выбора элементов и устройств ЭП); применение знаний в знакомой ситуации по образцу (выполнение расчета мощности ЭД, проверки ЭД по необходимым условиям, расчета и выбора аппаратов защиты, проводов и кабелей и т.д.); наличие единичных существенных ошибок.

Отметка в баллах	Показатели оценки
5 (пять)	Осознанное воспроизведение большей части программного учебного материала (описание с объяснением ЭП, назначения, принципа действия, требований, предъявляемых к ЭП различных производственных механизмов, их систем и т.д.; описание порядка расчета и выбора элементов и устройств электроприводов, способов энергосбережения в ЭП); применение знаний в знакомой ситуации по образцу (выполнение расчета мощности ЭД, проверки ЭД по необходимым условиям, расчета и выбора аппаратов защиты, проводов и кабелей, преобразователей и т.д.); наличие несущественных ошибок.
6 (шесть)	Полное знание и осознанное воспроизведение всего программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (описание и объяснение ЭП, назначения, принципа действия, требований, предъявляемых к ЭП различных производственных механизмов, их систем т.д.; порядка расчета и выбора элементов и устройств электроприводов, способов энергосбережения в ЭП), выполнение заданий по образцу, на основе предписаний (выполнение расчета мощности ЭД, проверки ЭД по необходимым условиям, расчета и выбора аппаратов защиты, проводов и кабелей, преобразователей и т.д.); наличие несущественных ошибок.
7 (семь)	Полное, прочное знание и воспроизведение программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (развернутое описание и объяснение устройства и принципа работы общепромышленных установок и входящих в них ЭП; обоснование выбора той или иной системы ЭП и т.д., недостаточно самостоятельное выполнение заданий (выполнение расчета статических нагрузок механизмов, мощности ЭД, проверки ЭД по необходимым условиям, расчета и выбора аппаратов защиты, проводов и кабелей, преобразователей и т.д.)); наличие единичных несущественных ошибок.

Отметка в баллах	Показатели оценки
8 (восемь)	<p>Полное, прочное, глубокое знание и воспроизведение программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в знакомой ситуации (развернутое описание и объяснение устройства и принципа работы общепромышленных установок и входящих в них ЭП; раскрытие сущности различных способов управления ЭП; формулирование выводов о возможных мероприятиях по энерго- и ресурсосбережению на промышленных предприятиях; обоснование использования той или иной системы ЭП и т.д., самостоятельное выполнение заданий (выполнение расчета статических нагрузок механизмов, механических характеристик и мощности ЭД, проверки ЭД по необходимым условиям, расчета и выбора аппаратов защиты, проводов и кабелей, преобразователей и т.д.)); наличие единичных несущественных ошибок.</p>
9 (девять)	<p>Полное, прочное, глубокое, системное знание программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в частично измененной ситуации (применение учебного материала при выдвижении предположений и гипотез, поиске новых способов и рациональных путей решения учебных задач, чтении электрических схем ЭП, при выполнении заданий творческого характера и т.д.).</p>
10 (десять)	<p>Свободное оперирование программным учебным материалом; применение знаний и умений в незнакомой ситуации (самостоятельные действия по описанию, объяснению современных систем управления ЭП общепромышленных установок; устранению ошибок в электрических схемах ЭП, выполнению творческих работ и заданий по расчету и выбору элементов ЭП промышленных и транспортных установок).</p>

Примечание. При отсутствии результатов учебной деятельности обучающимся в учреждении, обеспечивающем получение среднего специального образования, выставляется "0" (ноль) баллов.

5 Существенные и несущественные ошибки

Перечень существенных и несущественных ошибок по учебной дисциплине «Основы проектирования и расчета автоматизированных электроприводов промышленных и транспортных установок»

Существенные ошибки в изложении теоретического материала:

- затруднения при описании устройства и классификации различных промышленных и транспортных установок (грузоподъемных кранов, лифтов, конвейеров, вентиляторов, насосов, станков и др.);
- затруднения при изложении требований к электроприводам различных промышленных и транспортных установок (ТУ);
- затруднения при описании типовых схем электроприводов различных промышленных и ТУ;
- затруднения при объяснении схем защит электродвигателей;
- затруднения при пояснении порядка расчёта и выбора устройств управления и элементов защиты электроприводов;
- затруднения при изложении правил выполнения электрических схем электроприводов;
- затруднения при пояснении общих положений Единой системы конструкторской документации.

Существенные ошибки при выполнении практических работ:

- несоблюдение нормативно-методических документов при оформлении отчета по практической работе;
- ошибки при расчёте статических нагрузок и построении нагрузочных диаграмм механизмов различных промышленных и транспортных установок;
- ошибки при расчёте мощности, выборе и проверке электродвигателей промышленных и транспортных установок;
- ошибки при расчёте и построении механических характеристик электродвигателей при различных способах регулирования скорости;
- ошибки при расчёте и выборе пускорегулирующей аппаратуры для электроприводов;
- ошибки при расчёте и выборе аппаратов защиты, проводов и кабелей.

Несущественные ошибки в изложении теоретического материала:

- неточности при изложении определения, назначения, классификации и устройства различных промышленных и транспортных установок;
- наличие неточностей при описании работы различных промышленных и транспортных установок;
- наличие неточностей при описании требований к электроприводам общепромышленных установок;
- наличие неточностей при раскрытии основных вопросов энерго- и ресурсосбережения.

Несущественные ошибки при выполнении практических работ:

- наличие грамматических и пунктуационных ошибок в отчете (менее 5);
- затруднения при преобразовании единиц измерения величин;
- не указаны единицы измерения не более двух величин;
- неточности при построении механических характеристик электродвигателей;
- неполный перечень технических характеристик электродвигателей и электрических аппаратов при их выборе;
- неаккуратное выполнение записей, формул, схем, рисунков.

6 Перечень разделов и тем учебной программы

№№ вучэбных заняткаў	Назва раздэлаў, назвы тэм па вучэбнай праграме, назвы тэм асобных вучэбных заняткаў	Колькасць вучэбных гадзін
1	2	3
1	Цели дисциплины, её краткое содержание. Классификация общепро- мышленных установок. Общие требования к ЭП. Последователь- ность проектирования ЭП.	2
	РАЗДЕЛ 1 ЭП типовых производственных механизмов	18
	<i>Тема 1.1 Электроприводы подъёмно-транспортных механизмов</i>	6
2	Грузоподъёмные краны. Классификация и устройство. Требования к ЭП крановых механизмов. Типовые схемы ЭП кранов. Контроль входных знаний (КВЗ).	2
3	Назначение, устройство и классификация лифтов. Требования к ЭП лифтов. Типовые схемы ЭП лифтов.	2
4	Назначение, устройство и классификация конвейеров. Требования к ЭП конвейеров. Типовые схемы ЭП конвейеров.	2
	<i>Тема 1.2 Электроприводы турбомеханизмов (ТМ)</i>	4
5	Назначение, устройство и классификация турбокомпрессоров, вентиляторов, насосов.	2
6	Q-H-характеристики механизмов центробежного типа. Регулирова- ние производительности ТМ. Типовые схемы ЭП турбомеханизмов.	2
	<i>Тема 1.3 Электроприводы металлорежущих станков.</i>	8
7	Классификация металлорежущих станков. Механические передачи в станках.	2
8	Назначение и устройство токарных станков. Требования к ЭП токарных станков. Типовые схемы ЭП токарных станков.	2
9	Назначение и устройство сверлильных, расточных и фрезерных стан- ков. Требования к ЭП сверлильных, расточных и фрезерных станков. Типовые схемы ЭП сверлильных, расточных и фрезерных станков	2
10	Назначение и устройство шлифовальных и продольно-строгальных станков. Требования к ЭП шлифовальных и продольно-строгальных станков. Типовые схемы ЭП шлифовальных и продольно-строгаль- ных станков.	2
	Раздел 2 Расчет элементов ЭП	48
	<i>Тема 2.1 Расчет, выбор и проверка электродвигателей (ЭД)</i>	8
11	Расчет статических нагрузок и построение нагрузочных диаграмм промышленных механизмов. Тематический контроль №1	2
12	Расчет мощности ЭД промышленных механизмов при продолжи- тельном режиме работы. Выбор ЭД по каталогу.	2
13	Расчет мощности ЭД промышленных механизмов при повторно- кратковременном режиме работы. Выбор ЭД по каталогу.	2
14	Проверка ЭД промышленных механизмов по условиям нагрева, пуска и перегрузочной способности.	2

№№ вучэбных заняткаў	Назва раздэлаў, назвы тэм па вучэбнай праграме, назвы тэм асобных вучэбных заняткаў	Колькасць вучэбных гадзін
1	2	3
	<i>Тема 2.2 Расчет и построение механических характеристик ЭД</i>	4
15	Расчет и построение механических характеристик двигателей постоянного тока при различных способах регулирования скорости	2
16	Расчет и построение механических характеристик асинхронных двигателей при различных способах регулирования скорости	2
	<i>Тема 2.3 Расчет и выбор пускорегулирующей аппаратуры</i>	12
17	Расчет сопротивлений пусковых и тормозных резисторов. Выбор силовых полупроводниковых преобразователей.	2
18	Выбор полупроводниковых пусковых устройств. Выбор электрических аппаратов.	2
19	Назначение, состав и классификация комплектных ЭП.	
	<i>Практическая работа №1 Расчет и выбор элементов ЭП подъемно-транспортных механизмов.</i>	8
20	1.1 Расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы ПТМ.	2
21	1.2 Расчет мощности, выбор и проверка ЭД ПТМ.	2
22	1.3 Расчет и построение механических характеристик электродвигателей ПТМ.	2
23	1.4 Расчет и выбор пускорегулирующей аппаратуры для электроприводов ПТМ.	2
	<i>Тема 2.4 Расчет и выбор аппаратов защиты и токоведущих частей</i>	22
24	Схемы защит ЭД (тепловая, максимально-токовая, от работы на двух фазах и др.)	2
25	Расчет и выбор аппаратов максимально-токовой защиты: предохра- нителей, автоматических выключателей, реле максимального тока. Расчет и выбор аппаратов тепловой защиты. Селективность защиты.	2
26	Расчет и выбор проводов и кабелей для силовых цепей ЭД. Тематический контроль №2	2
	<i>Практическая работа №2 Расчет и выбор элементов ЭП турбомеханизмов</i>	8
27	2.1 Расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы турбомеханизмов.	2
28	2.2 Расчет мощности, выбор и проверка ЭД турбомеханизмов.	2
29	2.3 Расчет и выбор аппаратов защиты.	2
30	2.4 Расчет и выбор проводов и кабелей.	2
	<i>Практическая работа №3 Расчет и выбор элементов ЭП металлорежущих станков</i>	8
31	3.1 Расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграм- мы механизмов главного движения металлорежущих станков	2

№№ вучэбных заняткаў	Назва раздэлаў, назвы тэм па вучэбнай праграме, назвы тэм асобных вучэбных заняткаў	Колькасць вучэбных гадзін
1	2	3
32	3.2 Расчет мощности, выбор и проверка ЭД главного движения металлорежущих станков	2
33	3.3 Расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы механизмов подачи металлорежущих станков	2
34	3.4 Расчет мощности, выбор и проверка ЭД подачи металлорежущих станков	2
	Раздел 3 Составление и оформление конструкторской документации	8
	<i>Тема 3.1 Проектирование конструктивных чертежей электрооборудования промышленных и транспортных установок</i>	2
35	Общие положения ЕСКД. Виды конструкторских документов. Виды и типы схем. Правила выполнения схем расположения электрооборудования на общем виде установки.	2
	<i>Тема 3.2 Проектирование схем электрических принципиальных</i>	2
36	Назначение, особенности и правила выполнения схем электрических принципиальных.	2
	<i>Тема 3.3 Проектирование схем электрических соединений</i>	2
37	Назначение, особенности и правила выполнения схем электрических соединений.	2
	<i>Тема 3.4 Проектирование схем электрических подключения</i>	1
38	Назначение, особенности и правила выполнения схем электрических подключения.	1
	ОКР №1	1
	Раздел 4 Энергосбережение и ресурсосбережение	4
	<i>Тема 4.1 Основные вопросы энерго- и ресурсосбережения.</i>	2
39	Анализ ОКР №1. Понятия энерго- и ресурсосбережения. Производст- во электроэнергии в РБ. Потери в ЭП. Итоговый контроль	2
	<i>Тема 4.2 Мероприятия по энергосбережению и ресурсосбережению на промышленных предприятиях</i>	2
40	Энергосбережение средствами ЭП. Регулируемый ЭП, как средство энергосбережения в технологических процессах. Ресурсосбережение на промышленных предприятиях.	2
	Теоретических занятий - 56ч	
	Практических работ - 24ч	
	Всего - 80ч	

ВВЕДЕНИЕ

Производственные машины и механизмы составляют основу большинства технологических процессов, используемых в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте, в коммунальном хозяйстве, во всех сферах человеческой деятельности. Большинство производственных машин оснащено автоматизированным электроприводом и устройствами электроавтоматики.

Технологические процессы разнообразны по своему содержанию и областям использования. Еще более разнообразны производственные машины и механизмы, осуществляющие различные технологические процессы. Однако можно выделить группы машин и механизмов производственного назначения, характеризующиеся общностью выполняемых операций и принципом действия.

К таким машинам относятся:

- турбомеханизмы: насосы, вентиляторы, турбокомпрессоры;
- грузоподъемные машины: краны, лифты, шахтные подъемники и другие;
- транспортные машины: конвейеры, транспортеры, эскалаторы и другие;
- металлообрабатывающие станки;
- машины возвратно-поступательного движения: поршневые насосы и компрессоры, прессы;
- экскаваторы;
- прокатные станы.

Здесь перечислены производственные машины, которые наиболее широко применяются в основных отраслях промышленности и поэтому могут быть названы типовыми производственными механизмами. Однако, приведенный перечень не полон.

Основное влияние на режим работы электропривода и на требования, предъявляемые к нему, оказывает характер технологического процесса.

По характеру технологического процесса все машины и механизмы можно разделить на две большие группы: механизмы непрерывного действия и механизмы циклического действия.

В первой группе технологический процесс протекает непрерывно, во второй - рабочий процесс состоит из однотипных повторяющихся циклов.

Электроприводы механизмов непрерывного действия характеризуются редкими пусками, как правило, не требуют реверсирования и точной остановки. Электроприводы механизмов циклического действия – частыми пусками, реверсами, необходимостью регулирования скорости и точной остановки.

Классификация типовых производственных механизмов в зависимости от режима работы и характера статических и динамических нагрузок дана на рисунке 1. Представленная схема сгруппирована по принципу идентичности механических характеристик и общности подхода к расчету мощности приводного электродвигателя.

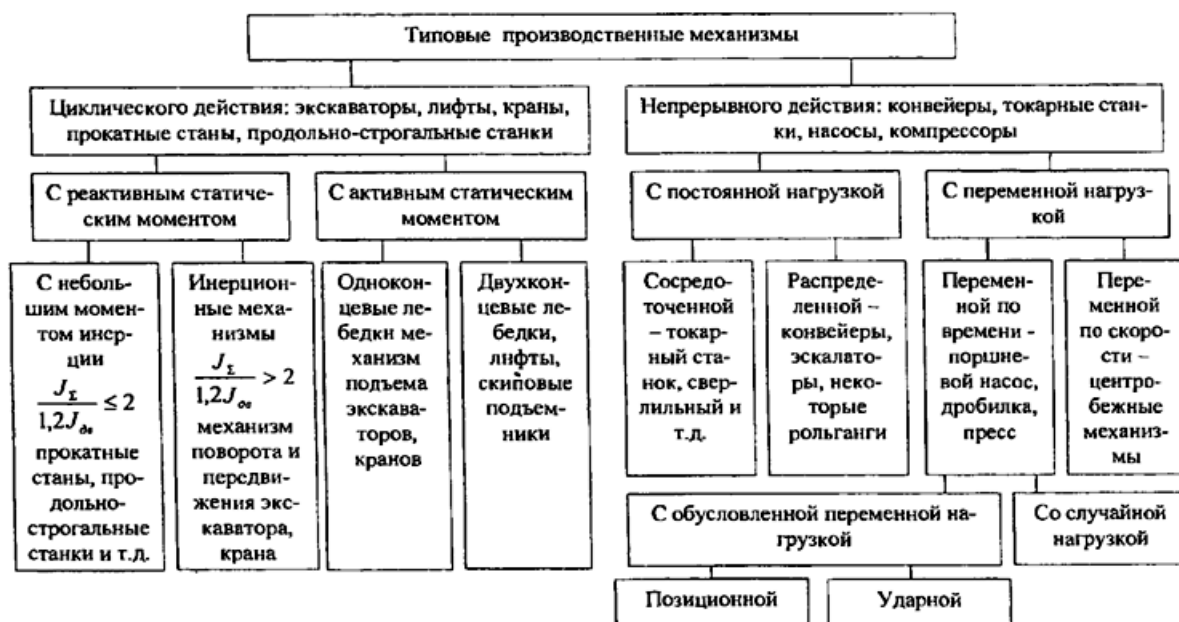


Рисунок 1 - Классификация типовых производственных механизмов

Общие требования, предъявляемые к электроприводу

Требования к электроприводу формируются отдельно для каждого производственного механизма или для группы идентичных механизмов. Но есть общие требования, которые предъявляются к электроприводам всех механизмов. К таким требованиям относятся:

1. Обеспечение заданного технологического процесса и требуемой производительности;
 2. Обеспечение требуемых условий пуска и торможения (в том числе по величине ускорения) производственных механизмов, а при необходимости – реверсирования и регулирования скорости;
 3. Ограничение нагрузок: динамических и ударных (динамические – при изменении скорости движения механизма в результате управляющих или возмущающих воздействий; ударные – после выборки зазоров в передаче, а также в результате соприкосновения рабочего органа с обрабатываемым материалом или с препятствием);
 4. Требования к виду управления электроприводом (ручное, автоматическое, программное и т.п.);
 5. Требования по надежности (отражаются в заданном времени наработки на отказ);
 6. Требования по конструктивной защищенности электрооборудования (степени защиты IP), по условиям окружающей среды, климатическому исполнению.
 7. Требования к экономическим показателям: минимальная стоимость электропривода, затрат электроэнергии на его работу;
 8. Экологические требования (например, ограничение уровня шума).
- Обычно в требованиях указываются также параметры электроснабжения (величина напряжения, частоты, допустимые отклонения).

Дополнительные требования к ЭП конкретных групп машин и механизмов рассмотрены в следующих темах лекций.

Последовательность проектирования электроприводов

Проектирование электропривода производится обычно в следующей последовательности:

- разработка требований, предъявляемых к электроприводу;
- расчет статических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы и тахограммы движения рабочего органа производственного механизма;
- выбор системы электропривода на основании предварительного технико-экономического анализа;
- выбор безредукторного или редукторного привода с определением передаточного числа механической передачи;
- выбор типа приводного электродвигателя;
- предварительный выбор электродвигателя по мощности и номинальной скорости вращения;
- расчет динамических нагрузок и построение нагрузочной диаграммы электропривода;
- проверка электродвигателя на нагрев, перегрузочную способность и по условиям пуска;
- выбор и расчет полупроводниковых преобразователей для питания электродвигателя;
- разработка функциональной и принципиальной схем электропривода;
- составление структурной схемы и расчет регуляторов системы автоматического регулирования;
- расчет или моделирование переходных процессов электропривода.

РАЗДЕЛ 1 ЭП ТИПОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

1.1 ЭП подъемно-транспортных механизмов

1.1.1 Грузоподъемные краны

Кранами называются грузоподъемные устройства, служащие для вертикального и горизонтального перемещения грузов на небольшие расстояния. По особенностям конструкции, связанным с назначением и условиями работы, краны разделяются на мостовые, порталные, козловые, башенные и др.

Основными механизмами крана являются: механизм подъема, механизм передвижения, механизм поворота и механизм передвижения грузовой тележки.

В зависимости от вида грузозахватывающего устройства различают: крюковые, магнитные, грейферные и другие краны.

В цехах предприятий электромашиностроения наибольшее распространение получили мостовые краны, с помощью которых производятся подъем и опускание тяжелых заготовок, деталей и узлов машин, а также их перемещение вдоль и поперек цеха.

На рисунке 2 показан общий вид крюкового мостового крана. Несущая сварная конструкция крана представляет собой мост с двумя главными балками 25 коробчатого сечения, перекинутыми через пролет цеха, и концевыми балками 2 и 13, на которых установлены ходовые колеса 15. Колеса перемещаются по рельсам 16 подкранового пути, закрепленным на балках опорных конструкций 1 в верхней части цеха. Привод ходовых колес осуществляется от электродвигателя 19 через редуктор 14 и трансмиссионный вал 18.

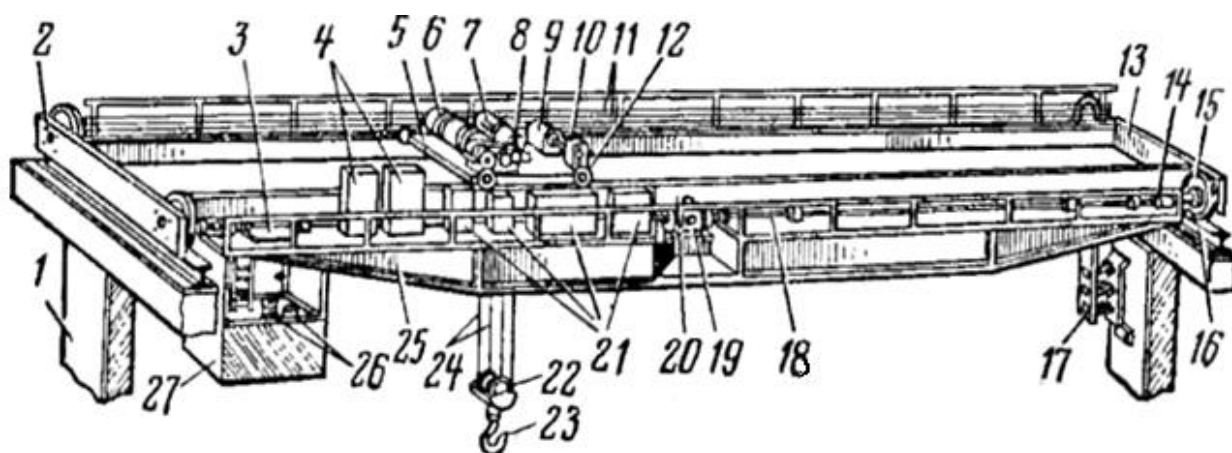


Рисунок 2 – Конструкция мостового крана

Вдоль моста проложены рельсы 20, по которым на колесах 12, приводимых во вращение электродвигателем 9 через редуктор 10, перемещается тележка 5 с подъемной лебедкой. На барабан 6 лебедки наматываются подъемные канаты 24 с подвешенным к ним на блоках 22 крюком 23 для захвата грузов. Барабан приводится во вращение электродвигателем 7 через редуктор 8.

Управление работой механизмов крана производится из кабины 27 оператора-крановщика, в которой установлены контроллеры или командоконтроллеры 26 – органы управления электроприводами механизмов. Электроаппаратура управления приводами размещается в шкафах 4, установленных на мосту крана. Здесь же располагаются ящики резисторов 21. Для проведения операций обслуживания механизмов и электрооборудования предусмотрен выход на мост из кабины через люк 3.

Электроэнергия к крану подводится при помощи скользящих токосъемников от главных троллеев 17, уложенных вдоль подкранового пути. Для подвода питания к электрооборудованию, размещенному на тележке 5, служат вспомогательные троллеи, идущие вдоль моста.

На рисунке 3 изображены кинематические схемы механизмов мостовых кранов. Так как двигатели обычно имеют угловую скорость, значительно большую, чем скорость подъемного барабана или ходовых колес моста

(тележки), то движение к рабочим органам механизмов крана передается через редукторы. Для механизмов подъема наибольшее применение получили схемы с полиспастом (рис.3а), при помощи которого движение от барабана передается крюку.

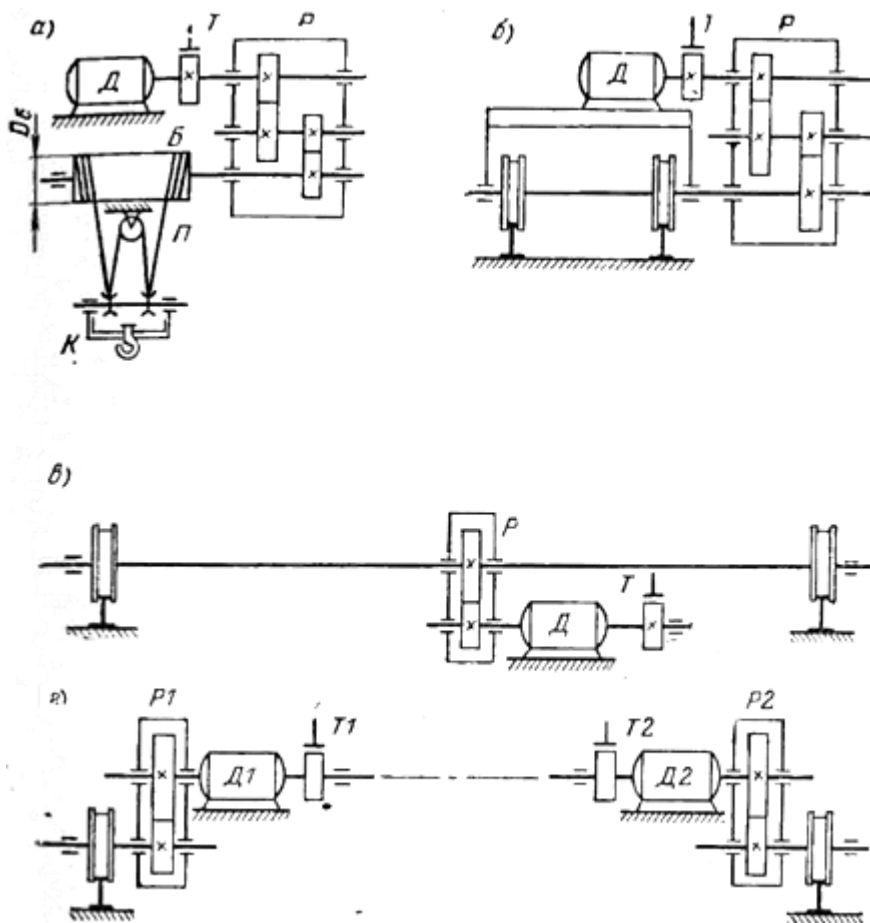


Рисунок 3 – Кинематические схемы механизмов мостовых кранов

На рис. 3б представлена схема механизма тележки, которая обычно имеет четыре ходовых колеса. Два из них, соединенные валом, приводятся в движение через редуктор от двигателя.

Передача движения к ходовым колесам концевых балок от двигателя, установленного на мосту, может осуществляться через редуктор, расположенный в средней части моста (рис.3в). Широко применяется также схема механизма передвижения моста с раздельным приводом ходовых колес (рис.3г). Каждый механизм крана имеет механический тормоз, который устанавливается на соединительной муфте между двигателем и редуктором или на тормозном шкиве на противоположном конце вала двигателя.

Номинальные скорости движения крюка 0,15 – 0,2 м/с, тележки 0,65 – 1 м/с, моста 2,0 – 2,3 м/с.

По грузоподъемности мостовые краны условно разделяют на малые (масса груза 5 – 10 т), средние (10 – 25 т) и крупные (свыше 50 т).

Обычно на тележках мостовых кранов грузоподъемностью свыше 15 т устанавливают два механизма подъема: главный, для подъема тяжелых грузов с малой скоростью, и вспомогательный, для подъема легких грузов с большой

скоростью (с соотношением грузоподъемности, например, 20/5, 30/5, 50/10 т). Вызвано это тем, что поднимать грузы малого веса, тяжелым крюком невыгодно, так как расходуется лишняя электроэнергия, а производительность невысока.

Нагрузка кранов, как правило, изменяется в широких пределах: для механизмов подъема от 0,12 до 1,0, а для механизмов передвижения от 0,5 до 1,0 номинального значения.

Характерно для кранов также то, что их механизмы работают в повторно-кратковременном режиме, когда относительно непродолжительные периоды работы, связанные с перемещением грузов, чередуются с небольшими паузами на загрузку или разгрузку и закрепление груза.

Электрооборудование кранов по режимам работы делятся на четыре категории: Л – легкий режим работы, С – средний, Т – тяжелый и ВТ – весьма тяжелый. Основными показателями, по которым судят о режиме работы, являются продолжительность включения двигателя механизма $PВ$ и число включений двигателя в час h .

Легкому режиму работы соответствуют $PВ = 15\%$ и $h = 60$ (строительно-монтажные краны); среднему – $PВ = 25$ и 40% и $h = 120$ (краны механических и сборочных цехов машиностроительных заводов); тяжелому – $PВ = 40\%$ и $h = 240$ (краны производственных цехов и складов на заводах с крупносерийным производством), весьма тяжелому – $PВ = 60\%$ и $h = 360...600$ (технологические краны металлургических заводов).

Помимо тяжелых условий работы при большом числе включений в час электрооборудование мостовых кранов обычно находится в условиях тряски, высокой влажности воздуха, резких колебаний температуры и запыленности помещений. В связи с этим на кранах применяется специальное электрооборудование, приспособленное к условиям работы кранов и отличающееся повышенной надежностью.

Для выбора системы электропривода необходимо четко представлять себе технологические требования к приводу того механизма, для которого он выбирается. Установление таких требований облегчает выбор оптимальной системы электропривода, т.е. такой, которая наиболее проста и дешева из всех систем, обеспечивающих желаемые эксплуатационные показатели механизма.

Для качественного выполнения подъёма, спуска и перемещения грузов *электропривод крановых механизмов должен удовлетворять следующим основным требованиям:*

1. Обеспечивать регулирование скорости двигателя в сравнительно широких пределах (для обычных кранов (3...6):1, для кранов штабелеров, контейнерных кранов (8...20):1, для башенных кранов (10...40):1. Причем, для уменьшения мощности электродвигателя и повышении производительности в механизмах подъема, целесообразно применять двухзонное регулирование скорости. Применение двухзонного регулирования скорости позволяет большие грузы перемещать с номинальной скоростью, а более легкие с повышенной.

2. Обеспечивать минимальную скорость в зависимости от типа крана и вида механизма в пределах от 0,02 до 0,25 м/с.

3. Иметь жесткие механические характеристики, особенно регулировочные, чтобы величина скорости мало зависела от нагрузки.

4. Ограничивать ускорение до допустимых пределов при минимальной длительности переходных процессов. Для основных типов кранов механизмы передвижения и поворота должны иметь ускорение в пределах от 0,1 до 0,5 м/с². Это условие связано с необходимостью ослабления ударов в механических передачах при выборе зазоров, предотвращения буксования ходовых колес, тележек и мостов и уменьшения раскачивания подвешенного на канатах груза, которое имеет место при интенсивном разгоне и резком торможении механизмов передвижения и поворота.

5. Обеспечивать точную остановку для крана-штабелера в пределах 2...10 мм, для контейнерного крана 25...50 мм.

6. Обеспечивать реверсирование электропривода и его работу в двигательном и тормозном режиме. В механизмах подъема обеспечивать подтормаживание при спуске и автоматический переход из двигательного в тормозной режим в зависимости от веса груза.

7. При многодвигательном приводе, электросхема должна обеспечивать выравнивание нагрузок между двигателями, а для механизмов передвижения предотвращение перекоса моста.

Системы электроприводов кранов

В зависимости от назначения и типа крана, вида механизма и требований, предъявленных к электроприводу, применяются различные системы электроприводов кранов.

Электроприводы переменного тока:

- АД с ФР:

- с полупроводниковым управлением (импульсное управление по ротору с естественной коммутацией, импульсное управление по ротору с искусственной коммутацией, ТРН – АД);

- реостатно-контакторным управлением (с силовыми командоконтроллерами СКК, с магнитными командоконтроллерами МКК).

- АД с КЗР:

- односкоростные (контакторное управление, ПЧИТ – АД, ПЧИИ – АД);

- многоскоростные (контакторное управление, ТРН – АД, НПЧ – АД).

Электроприводы постоянного тока (5 %):

- ТП – ДПТ НВ (жесткость характеристик на низких скоростях);

- ДПТ ПВ(СВ) реостатно-контакторным управлением (%→0): СКК и МКК.

Электрооборудование мостовых кранов выполняется и эксплуатируется в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов». Рабочее напряжение сети, питающей краны, не должно превышать 500 В. В соответствии с этим на кранах применяется электрооборудование на 220 или 380 В переменного тока и 220 или 440 В

постоянного тока. Напряжение 440 В используется только в силовых цепях кранов большой грузоподъемности.

Для защиты питающих проводов и электродвигателей от токов к. з. и значительных перегрузок (свыше 225%) на кранах предусматривается максимальная токовая защита с помощью реле максимального тока или автоматических выключателей. Плавкие предохранители используют только для защиты цепей управления. Тепловая защита на кранах обычно не применяется, так как в условиях повторно-кратковременного режима работы двигателей она может приводить к ложным отключениям. Для предотвращения самозапуска двигателей, т. е. самопроизвольного пуска их при восстановлении напряжения сети после перерыва в электроснабжении, в электрических схемах кранов используют совместно с «нулевой» защитой блокировку нулевой позиции контроллеров. Обязательным является наличие конечных выключателей для автоматической остановки механизмов при подходе их к крайним положениям. Для безопасности обслуживания электрооборудования люк для выхода из кабины на мост снабжается конечным выключателем, снимающим напряжение со вспомогательных троллеев при открывании люка. Все токоведущие части в кабине крана полностью ограждаются. Механизмы кранов оснащаются тормозами замкнутого типа с электромагнитами, которые автоматически растормаживают механизм при включении и затормаживают его при отключении двигателя. Metalлоконструкции кранов и все металлические части электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением из-за порчи изоляции, должны быть заземлены.

1.1.2 Лифты

Лифт представляет собой подъемную машину циклического действия, предназначенную для вертикального подъема людей и грузов. По назначению лифты разделяют на пассажирские, грузовые, больничные, специальные (шахтные подъемники, строительные подъемники).

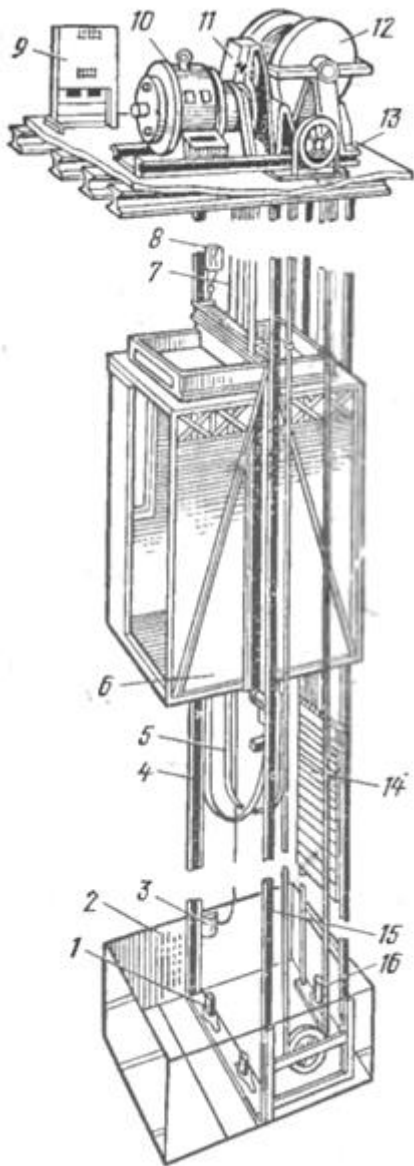
В зависимости от скорости движения кабины лифты подразделяют на тихоходные (до 0,71 м/с), быстроходные (от 1 до 1,6 м/с), скоростные (от 2 до 4 м/с) и высокоскоростные (4...10 м/с). Грузоподъемность пассажирских лифтов составляет от 320 до 1600 кг, грузовых – от 160 до 5000 кг.

По конструкции кинематической цепи:

- Редукторные
- Безредукторные
- С противовесом
- Без противовеса
- С противовесом и уравнительным канатом
- С противовесом и без уравнительного каната

При скорости до 1,6 м/с электродвигатель соединяется с канатоведущим шкивом через редуктор, если скорость выше, то применяют безредукторные электроприводы.

При большом разнообразии вариантов конструкций пассажирских и грузовых лифтов основными узлами оборудования для них являются: подъемная лебедка, канаты, кабина, противовес, двигатель, механический тормоз и аппаратура управления.



На рисунке 4 показан общий вид пассажирского лифта. В огражденной со всех сторон шахте 2 по направляющим 4 и 15 перемещается кабина 6, подвешенная на несущих канатах 7, которые навиваются в несколько заходов в клиновидные или полукруглые дорожки на поверхности канатоведущего шкива 12. Связь между шкивом 12 и главными канатами 7 осуществляется за счет трения, а не жестким креплением, как в барабанных лебедках мостовых кранов. На другом конце канатов 7 подвешен противовес 14, который движется по своим направляющим. Движение шкиву и несущим канатам сообщается от двигателя 10 в большинстве случаев через червячный редуктор.

На верхней части кабины современных лифтов устанавливается электропривод дверей, который через систему рычагов раздвигает створки дверей. Питание к двигателю дверей, а также к аппаратуре управления и сигнализации, расположенной в кабине лифта, подводится гибким кабелем 5. Через этот же кабель осуществляется связь с электрооборудованием, находящимся вне кабины.

Рисунок 4 – Общий вид лифта

Высокие требования безопасности пользования лифтом вызывают необходимость применения специального оборудования, действующего при различного рода повреждениях и авариях. На валу двигателя установлен электромагнитный тормоз 11, затормаживающий привод при снятии напряжения с двигателя при нормальной работе и в аварийных режимах. Для предохранения кабины и противовеса от удара об пол шахты при отказе в работе конечных выключателей 3, ограничивающих перемещения кабины в крайних положениях, служат масляные или пружинные буферы 1 и 16, на которые садятся кабина или противовес. Для предотвращения падения кабины при обрыве канатов (это происходит весьма редко) или при движении ее со скоростью, превышающей заданную, применяются специальные ловители, устанавливаемые в нижней части кабины, с клиновидными или клещевыми

захватами, губки которых захватывают направляющие 4, 15 и не только надежно тормозят кабину, но и удерживают ее в состоянии покоя после остановки.

Двигатель, редуктор, тормозной электромагнит и канатоведущий шкив монтируются на общей раме 13 и вместе со шкафом управления 9 устанавливаются в машинном помещении, чаще всего над шахтой. Верхнее расположение машинного помещения более экономично, чем подвальное, вследствие меньшей длины несущих канатов и снижения числа промежуточных блоков.

Вызывные кнопки располагаются на лестничных площадках. Для остановки кабины на заданном этаже применяются этажные переключатели 8.

Ускорение (торможение) в зависимости от типа лифта принимается в пределах от 1 м/с^2 (для больничных лифтов) до $2,5 \text{ м/с}^2$ (для скоростных и высокоскоростных) лифтов. Для быстроходных лифтов ускорение принимается $1,5 \text{ м/с}^2$; для тихоходных – менее $0,75 \text{ м/с}^2$. Рывок ограничивается значениями $3 \dots 10 \text{ м/с}^3$. Ограничение рывка на скоростных пассажирских лифтах создает у пассажира ощущение плавности переходного процесса. Для получения максимальной производительности, оптимальная тахограмма движения при условии ограничения ускорения и рывка представлена на рисунке 5.

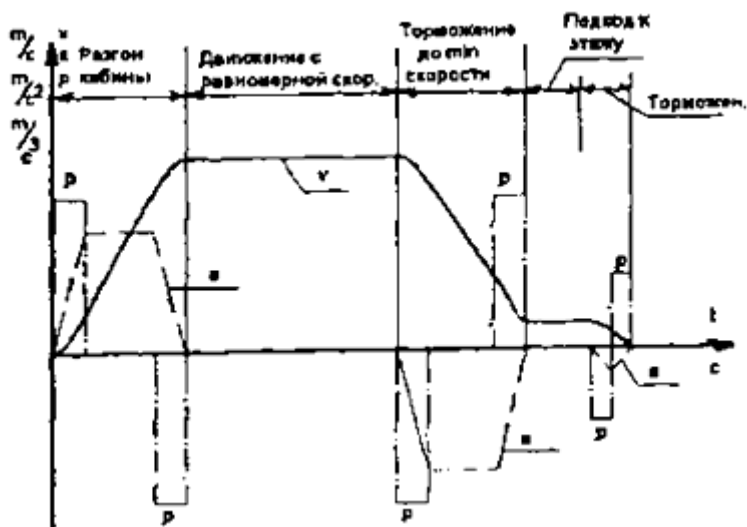


Рисунок 5 – Тахограмма движения лифта

Точность остановки для различных типов лифтов должна быть не хуже следующих значений: лифты скоростные, больничные и грузовые, загруженные посредством напольного транспорта 10... 20 мм; лифты остальные 35...50 мм; клетевые шахтные подъемники 50...200 мм.

Для качественного выполнения операции по транспортировке пассажиров и грузов при высокой производительности электропривод должен обеспечить:

- реверсивную работу двигателя;
- плавный пуск и торможение при условии, чтобы ускорение и замедление, а также их производные (рывок) не превышали установленные нормы;
- минимальное время переходных процессов;

- точную остановку кабины на уровне пола этажа;
- скорость кабины лифта в режиме ревизии не должна превышать 0,36м/с.

Схема управления лифтами должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Обеспечивать эксплуатационные режимы работы:
 - а) нормальный, в котором предусматриваются управление из кабины, вызов кабины на любой этаж, выполнение попутных вызовов при движении вверх и вниз;
 - б) режим ревизии при скорости не более 0,36 м/с;
 - в) управление из машинного зала.
2. Исключить самозапуск лифта после восстановления питания;
3. Исключить пуск лифта при открытых дверях кабины и шахты;
4. Обеспечить безопасную работу лифта и остановку при любых видах аварии;
5. При срабатывании пожарной сигнализации – автоматическое опускание кабины на первый этаж и открывание дверей.

Системы электроприводов лифтов

В лифтах и грузовых подъемниках типы электроприводов выбираются в зависимости от скорости движения, этажности здания и требуемой точности остановки.

В настоящее время применяют следующие электроприводы:

- Переменного тока:
 - РКУ с односкоростным АД с КЗР (тихоходные и грузовые лифты);
 - РКУ с двухскоростными АД КЗР (тихоходные и быстроходные лифты);
 - РКУ с АД ФР (тихоходные грузовые с большой грузоподъемностью, а также тихоходные лифты с большой частотой включения в час; и редко быстроходные, при ограниченной мощности сети подъемной установки);
 - ТРН–двухскоростной АД (быстроходные) – высокая плавность процессов разгона и замедления, высокая точность остановки на этаже (± 20 мм), отсутствие участка пониженной скорости перед остановкой. Вторая обмотка двигателя служит для получения малой скорости при ревизии;
 - ПЧИН-АД, ПЧИТ-АД, НПЧ-АД (скоростные и высокоскоростные).
- Постоянного тока:
 - ТП-ДПТ НВ (скоростные и высокоскоростные).

Все электрооборудование лифтов выполняется в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации лифтов».

1.1.3 Конвейеры

Конвейер – машина непрерывного действия для перемещения сыпучих, кусковых или штучных грузов.

Конвейеры классифицируются по нескольким признакам:

- по конструкции тягового органа:
 - ленточные
 - цепные
 - пластинчатые
 - канатные
- по типу грузонесущего органа:
 - тележечные
 - ковшовые
 - люлечные
 - скребковые
- по технологическому назначению:
 - транспортные
 - сушильные
 - гальванические
 - окрасочные
 - сборочные
- по конструкции основания конвейера:
 - монорельсовые
 - подвесные
 - рамные
- по характеру взаимодействия между приводным и тяговым элементами:
 - тянущие
 - толкающие

Основным конструктивным элементом, наиболее часто применяемого ленточного конвейера, является замкнутый, непрерывно движущийся в процессе работы тяговый орган, который выполняется в виде ленты (текстильной прорезиненной, стальной и т. п.)

На рисунке 6 показано устройство ленточного конвейера. На два барабана натягивается замкнутая лента 1. Правый барабан 2, является ведущим (приводным), через механическую передачу 3 (чаще всего ременную) приводится во вращение от двигателя 4. Подшипники левого барабана 5 (ведомого) могут перемещаться по направляющим, что обеспечивает с помощью груза G_0 и отводного шкива 6 поддержание предварительного натяжения ленты конвейера при ее вытяжке в процессе эксплуатации. Для устранения провисания ленты, под действием перемещаемого груза, вдоль нее устанавливается ряд опорных роликов 7, которые вращаются за счет трения между ними и лентой. Ведущий барабан, передача и двигатель образуют приводную станцию. Лента, верхние и нижние опорные ролики вместе с рамой составляют несущую конструкцию конвейера.

Для увеличения сцепления между лентой и барабаном его поверхность покрывают резиной, пластмассой или керамикой.

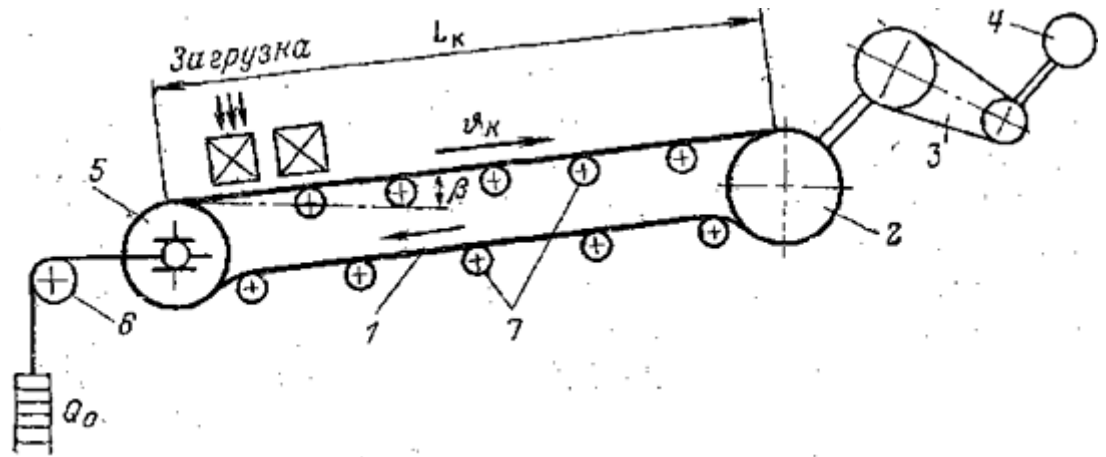


Рисунок 6 – Конструкция ленточного конвейера

Разновидность ленточного конвейера — пластинчатый конвейер. Его тяговый орган выполнен в виде двух замкнутых пластинчатых цепей с прикрепленными к ним металлическими пластинами, образующими непрерывное полотно. Тяговые цепи перекинуты через ведущие и ведомые звездочки. Ведущие звездочки приводятся во вращение электроприводом.

Требования, предъявляемые к электроприводу механизмов конвейерного типа, следующие:

1. Регулирование скорости не требуется или требуется в небольшом диапазоне ($D = 2...5$);
2. Требуется повышенный пусковой момент из-за большего по величине момента трения покоя относительно момента трения движения ($M_{п} \geq (1,8...2) M_{н}$);
3. Обеспечение плавности переходных процессов — ограничение ускорения ($a \leq 1,5..2 \text{ м/с}^2$) и рывка ($\rho \leq 5...10 \text{ м/с}^3$) с целью исключения раскачивания или пробуксовки механизма и исключения динамических волн натяжения в тяговом органе;
4. В большинстве случаев конвейерная система нереверсивная (кроме эскалатора) и не требует электрического торможения;
5. При работе с несколькими приводными барабанами, электропривод должен обеспечивать синхронизацию работы приводных барабанов, т.е. установление расчетного распределения тягового усилия между приводными барабанами;
6. Приводы быстроходных транспортных конвейеров должны обеспечивать пониженную скорость ленты ($0,2...1 \text{ м/с}$) для проведения ее осмотра.

Системы ЭП типовых промышленных механизмов конвейерного типа

ЭП переменного тока (для транспортировки):

- АД с КЗР (с повышенным пусковым моментом)
-односкоростным АД с РКУ;

- многоскоростным АД с РКУ;
- ПЧ – АД.
- АД с ФР (при требовании повышенного пускового момента)
 - реостатный пуск с РКУ (требуется большое количество ступеней);
 - импульсное регулирование добавочного сопротивления в цепи ротора.
- СД с РКУ – широкого применения не получил (применяются больших мощностей, однако обладают большой инерционностью и время пуска увеличивается до 30-100 с, что вызывает перегрев двигателя и снижение напряжения сети на время пуска).
 - ЭП постоянного тока (для выполнения технолог. операций: окраска, сушение):
 - ДПТ НВ
 - ТП – ДПТ (при согласовании движения конвейеров);
 - ШИП – ДПТ.

1.2 Электропривод турбомеханизмов

Наиболее характерными видами турбомеханизмов являются механизмы центробежного типа, предназначенные для транспортировки жидкости – насосы, газа – вентиляторы, сжатого воздуха – турбокомпрессоры. К механизмам этого же класса относятся осевые вентиляторы и насосы.

1.2.1 Турбокомпрессоры

Компрессоры применяют для получения сжатого воздуха или другого газа давлением свыше $4 \cdot 10^5$ Па с целью использования его энергии в приводах пневматических молотов и прессов, в пневматическом инструменте, в устройствах пневмоавтоматики и т. д. Разновидностью компрессоров являются воздуходувки, служащие для подачи воздуха или газов давлением от $1,1 \cdot 10^5$ до $4 \cdot 10^5$ Па.

Центробежные компрессоры по конструкции подразделяют на турбинные и ротационные. В турбинном компрессоре (рис.7а) ротор 1 с лопастями при вращении захватывает газ из впускного трубопровода 2 и выбрасывает его в выпускной трубопровод 3. Увеличение давления происходит за счет повышения скорости движения частиц газа и его сжатия между лопастями и корпусом компрессора при эксцентричном расположении ротора.

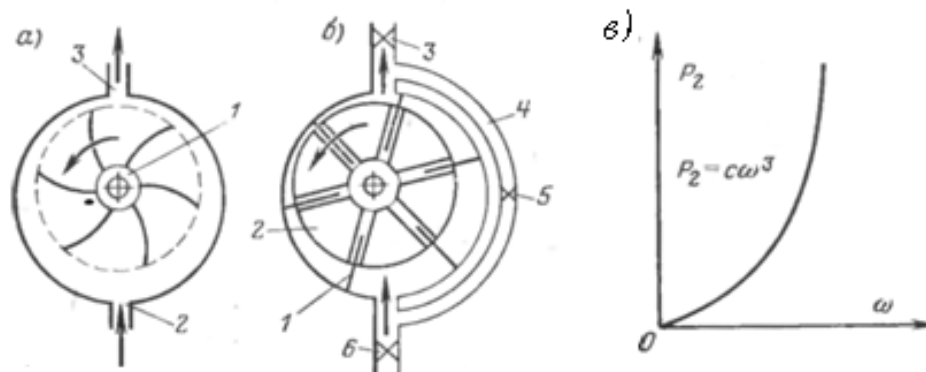


Рисунок 7 – Конструкции турбинного (а) и ротационного (б) компрессоров

В ротационном компрессоре (рис. 7б) увеличение давления осуществляется путем сжатия газа в камерах, образуемых с помощью пластин 1, которые перемещаются под действием центробежных сил в направляющих ротора 2 при его вращении и прижимаются к стенкам корпуса. Впускной вентиль 6 и выпускной вентиль 3 во время работы компрессора открыты. Для обеспечения работы компрессора при отсутствии потребления сжатого газа служит обходной трубопровод 4 с вентилем 5.

Статическая мощность P_2 на валу центробежных компрессоров изменяется пропорционально третьей степени угловой скорости ω (рис. 7в), если отсутствует противодействие. Для этих механизмов характерны простота конструкции, надежность в эксплуатации и высокая производительность. Такие компрессоры применяются для получения давлений до $6 \cdot 10^5$ Па (турбинные) и до $15 \cdot 10^5$ Па (ротационные).

При сжатии газа в компрессорах выделяется большое количество тепла, которое обычно отводится с помощью проточной воды, проходящей через кожух компрессора. Благодаря охлаждению сохраняется неизменной температура сжимаемого газа и снижается мощность приводного двигателя. Угловая скорость рабочего вала компрессоров составляет у ротационных 300 рад/с, у турбинных до 1200 рад/с.

1.2.2 Вентиляторы

Вентиляторы предназначены для вентиляции производственных помещений, отсасывания газов, подачи воздуха или газа в камеры электропечей, в котельных и других установках. Вентиляторы создают перепад давления $(0,01 \dots 0,1) \cdot 10^5$ Па.

По конструкции вентиляторы делятся на центробежные и осевые. Они выпускаются в нескольких исполнениях в зависимости от направления выхода воздуха, (вверх, вниз, горизонтально и т. д.) и направления вращения.

Рабочее колесо 1 центробежного вентилятора (рис. 8а) вращается в кожухе 2. Воздух засасывается через боковое отверстие 4 кожуха и выбрасывается через выходной раструб 3.

Осевой вентилятор (рис.8б) имеет рабочее колесо с несколькими лопатками 1, сходными по форме с лопатками воздушного или гребного винта. Колесо вращается электродвигателем 2, укрепленным внутри корпуса 3, и создается тяга (поток) воздуха через раструб вентилятора.

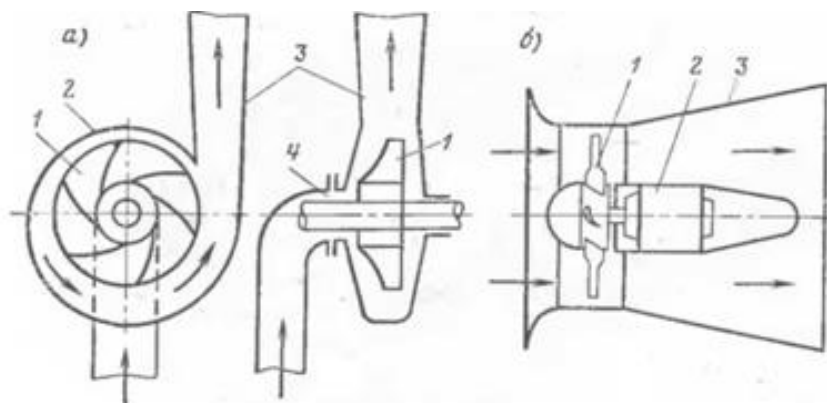


Рисунок 8 – Конструкции центробежного (а) и осевого (б) вентиляторов

Наибольшее распространение на промышленных предприятиях получили центробежные вентиляторы. Они имеют такую же, как и центробежные компрессоры, зависимость статической мощности на валу от скорости ($P_2=c\omega^3$) (рис.7в), называемую вентиляторной характеристикой. Момент на валу вентилятора изменяется пропорционально квадрату скорости, а производительность вентилятора пропорциональна угловой скорости в первой степени.

Осевые – большая производительность.

Центробежные – большее давление.

Вентиляторы в отличие от других нагнетателей работают на сеть без противодействия.

1.2.3 Насосы

Насосные установки широко применяются на электромашиностроительных предприятиях для перекачивания (транспортировки) жидких сред – вязких жидкостей, а также технологической и охлаждающей воды. Сюда относятся, например, насосы для перекачки охлаждающей эмульсии в металлообработке, насосы в системе водоснабжения и канализации, специальные насосы для химических сред (щелочей и кислот) в гальванических цехах, насосы для пропиточных составов, лакокрасочных материалов и т. д.

Устройство центробежных насосов подобно устройству центробежных компрессоров. В спиральном корпусе 1 насоса помещается рабочее колесо 2 с лопатками. При вращении колеса двигателем Д жидкость, поступающая к центру колеса из заборного резервуара б через всасывающий трубопровод 7 и открытую задвижку 5, центробежной силой выбрасывается по лопаткам на периферию корпуса.

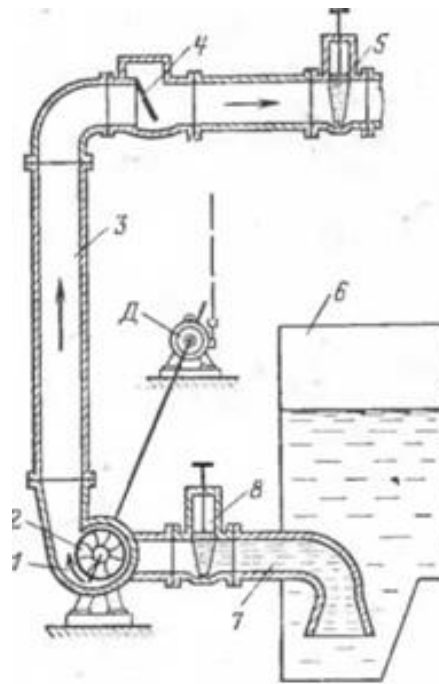


Рисунок 9 – Конструкция центробежного насоса

В результате в центре рабочего колеса создается разрежение, жидкость засасывается в насос, снова выбрасывается лопатками колеса на периферию корпуса и далее подается в напорный трубопровод 3. Таким образом, в системе при открытой задвижке 5 создается непрерывное течение жидкости и центробежный насос имеет равномерный ход. Зависимость мощности на валу двигателя от скорости у этих насосов подобна характеристикам центробежных компрессоров и вентиляторов.

Перед пуском центробежный насос нужно заполнить жидкостью. Насос может находиться как ниже, так и выше уровня жидкости, подлежащей подъему или перекачке. Если он расположен ниже уровня жидкости (рис. 9а), то для его заливки достаточно открыть вентиль 8. Если же насос находится выше уровня перекачиваемой жидкости, то для заливки требуется создать разрежение внутри корпуса насоса при помощи специального вакуум-насоса, в качестве которых обычно применяют поршневые насосы. В последнее время для заливки таких насосов стали применять аккумуляторные баки. Такой бак устанавливается выше уровня насоса, через него проходит всасывающий трубопровод, и после остановки насос оказывается залитым жидкостью, как если бы он находился ниже заборного резервуара.

После заливки корпуса насоса может быть включен приводной двигатель.

Применяют три способа пуска центробежных насосов:

1. Пуск при закрытой напорной задвижке 5, при котором плавно повышается давление в напорном трубопроводе и исключается гидравлический удар в системе. От двигателя не требуется повышенный пусковой момент $M_{п}$, так как пуск происходит практически вхолостую, но дополнительно тратится время на последующее открывание задвижки;

2. Пуск при открытой напорной задвижке удобен, если насос расположен ниже уровня жидкости в заборном резервуаре и имеется обратный клапан. В этом случае не тратится время на открывание задвижки, и общее время пуска агрегата меньше, хотя пуск самого двигателя более длителен из-за увеличения $M_{п}$;

3. Пуск с одновременным включением привода открывания напорной задвижки насоса можно рассматривать как частные случаи первого и второго способов в зависимости от соотношения времени открывания задвижки и пуска насоса.

При остановке насоса надо вначале медленно – во избежание гидравлического удара – закрыть напорную задвижку, а затем отключить двигатель насоса. Предварительное закрывание задвижки до остановки насоса необходимо при отсутствии обратного клапана для предотвращения работы насоса в качестве гидротурбины под напором жидкости, находящейся в системе. Такой режим может привести к аварии насосного агрегата.

Существуют также поршневые компрессоры. Они имеют более сложную конструкцию, чем центробежные, и применяются для получения давлений до $1000 \cdot 10^5$ Па при относительно небольшой производительности. Угловая скорость рабочего вала у поршневых компрессоров составляет 30 – 75 рад/с.

Поршневые насосы применяются для перекачивания воды при больших высотах всасывания (до 5 – 6 м).

1.2.4 Электропривод и эксплуатация механизмов центробежного типа

Эксплуатационные свойства механизмов центробежного типа (насосов, компрессоров и вентиляторов) определяются зависимостью напора H (давления жидкости или газа на выходе механизма) от производительности Q при различных угловых скоростях ω механизма. Эти зависимости, называемые Q - H характеристиками, обычно приводятся в виде графиков в каталогах для каждого конкретного механизма.

На рис. 10а показаны Q - H характеристики (1–5) центробежного насоса. Чтобы определить параметры Q и H насоса, необходимо знать Q - H характеристику магистрали (потребителя), на которую будет работать насос (кривые d и e).

Пересечение характеристик насоса и магистрали дает значения Q и H , т. е. определяет режим работы механизма при различных скоростях его рабочего колеса. Полный напор в системе складывается из статического H_c и динамического $H_{дин}$ напоров, т.е.

$$H = H_c + H_{дин} .$$

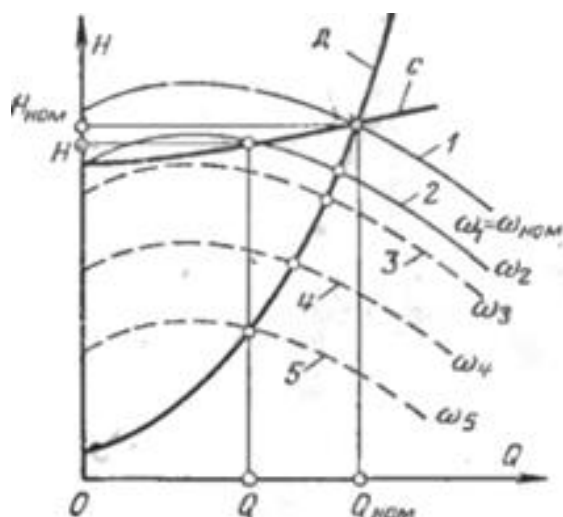


Рисунок 10 – Q-H характеристики центробежного насоса

В системе с преобладанием статического напора (кривая с на рис.10) при незначительном изменении скорости двигателя от $\omega_1 = \omega_{\text{ном}}$ до ω_3 характеристика насоса не пересекается с характеристикой системы. Это значит, что насос перестает подавать жидкость в систему. Такое положение может иметь место при асинхронном приводе насоса, когда снижение напряжения сети U_c обуславливает уменьшение скорости двигателя, что может вызвать остановку насоса.

Если в системе преобладает динамический напор (кривая д), то снижение U_c не приводит к остановке асинхронного двигателя, однако производительность насоса уменьшается.

Производительность турбомеханизмов можно регулировать различными способами:

- дросселированием трубопровода ($\Delta P_{\text{max}} = 0,385P_{\text{ном}}$ – при отсутствии статического напора);
- изменением угловой скорости приводного двигателя (наиболее экономичный);
- изменением положения рабочих органов механизма в процессе регулирования (например, поворотных лопаток на рабочем колесе). Немного экономичнее, чем дросселированием, имеет большие потери, чем при регулировании изменением скорости вращения;
- изменением числа работающих на магистраль агрегатов (достоинством данного способа является экономичность, поскольку отсутствуют дополнительные потери при регулировании подачи, а недостатком - невозможность плавного регулирования подачи, необходимо предусматривать определенный запас по мощности двигателей).

Все способы регулирования Q связаны с потерями энергии. На промышленных предприятиях наибольшее распространение получили первые два способа.

Регулирование дросселированием осуществляется введением задвижек в трубопровод, что приводит к изменению результирующего сопротивления и вида характеристики 1 магистрали (рис.11). При неизменной угловой скорости рабочая точка механизма при дросселировании перемещается влево по Q-H-характеристике от точки $H_{ном}$ до точки H_p пересечения с новой характеристикой 2 магистрали и производительность уменьшается. При этом часть напора ΔH_p теряется на регулирующем устройстве.

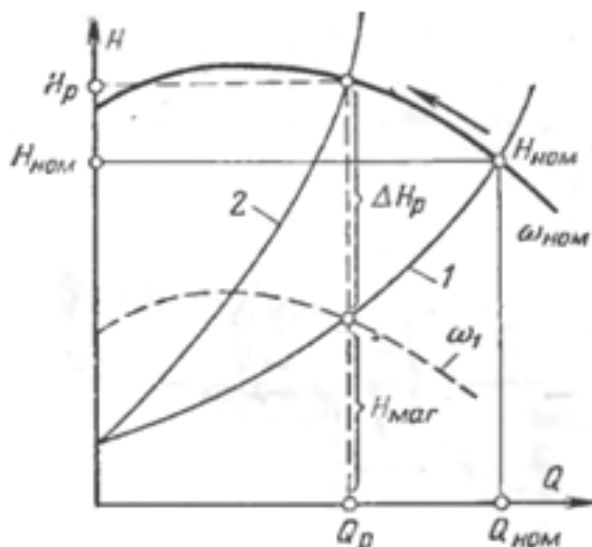


Рисунок 11 – Q-H характеристики центробежного насоса при дросселировании

Качество регулирования дросселированием может быть оценено КПД установки: при уменьшении Q в 2 раза КПД установки уменьшится в 4 раза.

Данный способ применяется только в установках мощностью в несколько киловатт, в которых преобладает статический напор, при небольшом диапазоне регулирования производительности.

Регулирование изменением угловой скорости двигателя. При преобладании в системе статического напора (кривая с, рис. 10) незначительное изменение скорости от $\omega_{ном}$ до ω_2 приводит к значительному изменению производительности от $Q_{ном}$ до Q. При преобладании динамического напора (кривая д) для такого же снижения производительности необходимо большее снижение скорости двигателя (от $\omega_{ном}$ до ω_5). Потери при регулировании сопротивления в цепи ротора АД составляют $\Delta P_{max} = (0,154 \dots 0,162) P_{ном}$.

Необходимо отметить, что при регулировании подачи изменением скорости, в отличие от других способов КПД насоса (вентилятора) практически не изменяется.

Регулирование изменением числа работающих агрегатов производится путем включения на параллельную работу нескольких агрегатов меньшей мощности. Если в магистрали преобладает статический напор, то общая производительность совместно работающих агрегатов равняется сумме производительностей каждого агрегата, чем обеспечивается их экономичная

работа. При преобладании динамического напора общая производительность увеличивается незначительно, а работа агрегатов происходит с пониженным КПД.

Требования, предъявляемые к электроприводам турбомеханизмов следующие:

1. ЭП турбомеханизмов выполняется нереверсивный (очень редко нужен реверс);
2. В большинстве случаев регулирование скорости не требуется, а если необходимо, то в диапазоне $D < 2$;
3. В ЭП, работающих в агрессивных и взрывоопасных средах используются АД закрытого исполнения или специальной конструкции;
4. Отсутствие электрического торможения.

Системы ЭП турбомеханизмов

1. Нерегулируемый ЭП с АД КЗР с РКУ;
2. Нерегулируемый ЭП с многоскоростным АД КЗР с РКУ (при небольшой мощности);
3. Нерегулируемый ЭП с АД ФР с РКУ (для крупных установок-шахтных вентиляторов-когда суммарный момент инерции ЭП \gg момента инерции двигателя, т.к. у АД и СД затяжной пуск);
4. Нерегулируемый ЭП с СД (при мощности свыше 250 кВт);
5. ТРН – АД с КЗР (применение для приводов мощностью не выше 15 кВт, и при диапазоне регулирования не более 1,5, что связано с большими потерями в роторе двигателя при работе с повышенным скольжением);
6. Импульсное регулирование активного сопротивления в статорной цепи АД с КЗР (недостатки как в п.5, следовательно, надо завышать мощность АД);
7. Реостатно-контакторное управление АД с ФР;
8. Импульсное регулирование активного сопротивления в роторной цепи АД с ФР;
9. Асинхронный вентильный каскад (используется для турбомеханизмов мощностью свыше 250 кВт с номинальной скоростью вращения не выше 1500 об/мин; это ограничение связано со сложностью изготовления асинхронного двигателя с фазным ротором на большие скорости вращения);
10. Вентильный двигатель на базе высоковольтной синхронной машины (эта система привода применяется для механизмов большой мощности);
11. ПЧ-АД (при $D > 2$ и высоких требованиях к жесткости механических характеристик).

Опыт применения регулируемых электроприводов на насосных станциях в системах холодного и горячего водоснабжения показал высокую энергетическую эффективность, благодаря чему достигается значительная экономия электроэнергии. Срок окупаемости дополнительных затрат на установку регулируемого электропривода не превышает 1,5 года.

1.3 Металлорежущие станки

1.3.1 Классификация металлорежущих станков

Металлорежущие станки являются распространенными производственными машинами, предназначенными для механической обработки заготовок из металла режущими инструментами. Путем снятия стружки заготовке придается требуемая форма, размеры и чистота поверхности.

В зависимости от характера выполняемых работ, вида применяемых инструментов и формы образуемой поверхности металлорежущие станки подразделяются на следующие девять групп:

- 1) токарные;
- 2) сверлильные и расточные;
- 3) шлифовальные;
- 4) комбинированные;
- 5) зубо- и резьбообрабатывающие;
- 6) фрезерные;
- 7) строгальные и долбежные;
- 8) отрезные;
- 9) разные.

Внутри групп станки подразделяются на типы.

В зависимости от технологических возможностей обработки деталей разных размеров, форм и от характера организации производства различают станки:

1) универсальные и широкого назначения, служащие для выполнения различных операций (например, точения, сверления, нарезания резьбы и др.) и способов обработки (например, фрезерования и растачивания отверстий), при обработке изделий многих наименований и типоразмеров; такие станки применяются при штучном и мелкосерийном производстве в ремонтных цехах, мастерских.

2) специализированные, предназначенные для обработки деталей, сходных по форме, но имеющих различные размеры; такие станки используются в серийном производстве;

3) специальные, служащие для обработки деталей одного типоразмера; станки такого вида применяются в крупносерийном и массовом производствах.

По массе и размерам (типоразмеру) различают станки:

- нормальные, имеющие массу до $10 \cdot 10^3$ кг;
- крупные — массой от 10 до $30 \cdot 10^3$ кг;
- тяжелые — от 30 до $100 \cdot 10^3$ кг;
- уникальные — свыше $100 \cdot 10^3$ кг.

По точности обработки различают станки:

- нормальной точности,
- повышенной,
- высокой,
- особо высокой точности (прецизионные).

Для получения детали определенной формы и размеров необходимо снять с заготовки лишний металл с помощью инструмента, режущая кромка которого перемещается относительно заготовки. Это перемещение создается в результате сочетания движений инструмента и заготовки. Эти движения называют основными.

Их разделяют на главное (режущее) движение (за счет него инструмент производит резание металла) и движение подачи, которое служит для перемещения инструмента или обрабатываемой заготовки для снятия слоя металла.

В зависимости от вида обработки основные движения могут иметь различный характер. При строгании сочетаются поступательное движение детали или инструмента (движение резания) и перпендикулярное к нему поступательное движение инструмента (подачи); при токарной обработке происходит вращение заготовки и поступательное движение инструмента; фрезерование осуществляется путем сочетания вращательного движения инструмента и поступательного движения заготовки; при сверлении оба основных движения совершает инструмент.

Регулирование скорости приводов главного движения станков осуществляется одним из следующих способов:

- 1) механическим – изменением передаточного отношения от двигателя к рабочему органу станка;
- 2) электрическим – изменением частоты вращения двигателя;
- 3) электромеханическим – комбинированием двух первых способов. При этом механическое регулирование, как правило, является ступенчатым, а электрическое может быть ступенчатым и бесступенчатым.

Главное движение имеет наибольшую установленную мощность, т.к. именно главный привод станка обеспечивает необходимое усилие резания.

Применяются следующие типы приводов подачи:

- 1) от главного привода через механическую передачу;
- 2) от отдельного электродвигателя;
- 3) от гидропривода.

Осуществление подачи от главного привода позволяет сохранить постоянным установленное соотношение между скоростью подачи и частотой вращения шпинделя (планшайбы) станка, что является обязательным для выполнения таких работ, как нарезание резьбы, фрезерование и шлифование зубчатых колес. Вместе с тем при таком способе невозможно плавное изменение скорости подачи в процессе резания и значительно усложняется кинематика станка.

Кроме основных движений в станках имеются вспомогательные движения. Они непосредственно не участвуют в процессе резания, но необходимы для обработки изделий, например: для установки инструмента, автоматического подвода его к заготовке и обратного отвода, контроля размеров в процессе обработки, подачи смазки и охлаждающей жидкости и т.д.

В зависимости от типа станка и его типоразмера электропривод может иметь следующие режимы работы:

- продолжительный режим с постоянной нагрузкой (S1) – в таком режиме работают главные ЭП крупных и тяжелых токарных, карусельных, зубофрезерных и других станков;

- перемежающийся режим (S6) – для станков, оборудованных нерегулируемым приводом и механической коробкой передач;

- повторно-кратковременный режим (S3, S4 или S5) имеют электроприводы многих металлорежущих станков, имеющих регулируемый электропривод (например, токарные нормального исполнения, сверлильные, заточные и т.д.);

- перемежающийся режим работы с частыми реверсами (S7) – для главного привода продольно-строгальных станков.

ЭП вспомогательных механизмов работают в кратковременном режиме (S2).

На рисунке 12 показаны кинематические схемы механических передач, используемых на станках.

Для преобразования вращательного движения в поступательное используют винтовую (рис.12г) или реечную (рис.12д) передачи. Эти передачи характеризуются расстоянием, на которое поступательно перемещается движущийся элемент за один оборот приводного двигателя.

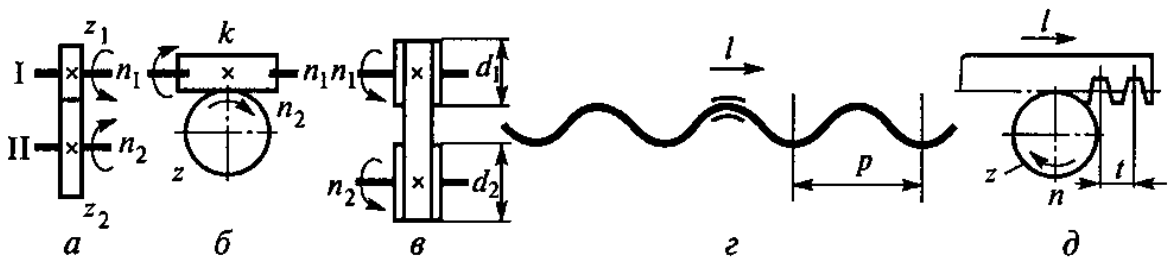


Рисунок 12 - Механические передачи в станках

а – зубчатая: I – ведущий вал; z_1 – число зубьев шестерни; n_1 – частота вращения ведущего вала; II – ведомый вал; z_2 – число зубьев колеса; n_2 – частота вращения ведомого вала; *б* – червячная: n_1 и k – частота вращения и число заходов червяка соответственно; n_2 и z – частота вращения и число зубьев колеса соответственно; *в* – ременная: n_1 и d_1 – частота вращения ведущего ролика и его диаметр соответственно; n_2 и d_2 – частота вращения ведомого ролика и его диаметр соответственно; *г* – винтовая: p – шаг винта; l – направление перемещения гайки; *д* – реечная: l – направление перемещения рейки; t – шаг зубьев рейки; z – число зубьев колеса; n – направление вращения колеса

В реечной передаче перемещение рейки за один оборот зубчатого колеса (шестерни) равно

$$l = \pi m z,$$

где z – число зубьев колеса; m – модуль зацепления.

Пара винт – гайка используется в механизмах подачи почти всех станков. При повороте винта на один оборот гайка перемещается вправо или влево (в зависимости от направления резьбы) на один шаг. Существуют конструкции, в которых гайка неподвижна, а винт вращается и перемещается. Для передачи винт – гайка перемещение поступательно движущегося элемента равно

$$l = p k,$$

где p – шаг винта, мм; k – число заходов винта.

1.3.2 Токарные станки

Станки токарной группы относятся к наиболее распространенным, металлорежущим станкам и широко применяются на промышленных предприятиях, в ремонтных мастерских и т.п. В эту группу входят: универсальные токарные и токарно-винторезные, револьверные, токарно-лобовые, карусельные, токарно-копировальные станки, токарные автоматы и полуавтоматы.

На токарных станках производится обработка наружных, внутренних и торцевых поверхностей тел вращения цилиндрической, конической и фасонной формы, а также прорезка канавок, нарезка наружной и внутренней резьбы и т.д. Режущими инструментами на токарных станках служат в основном резцы, но применяются также и сверла, развертки, метчики, плашки и др.

Характерной особенностью станков токарной группы является осуществление главного движения за счет вращения обрабатываемой детали. Подача режущего инструмента производится путем поступательного перемещения суппортов.

Наибольшее применение получили универсальные токарно-винторезные станки, на которых выполняются всевозможные токарные работы. На рис. 13 показан общий вид универсального токарно-винторезного станка.

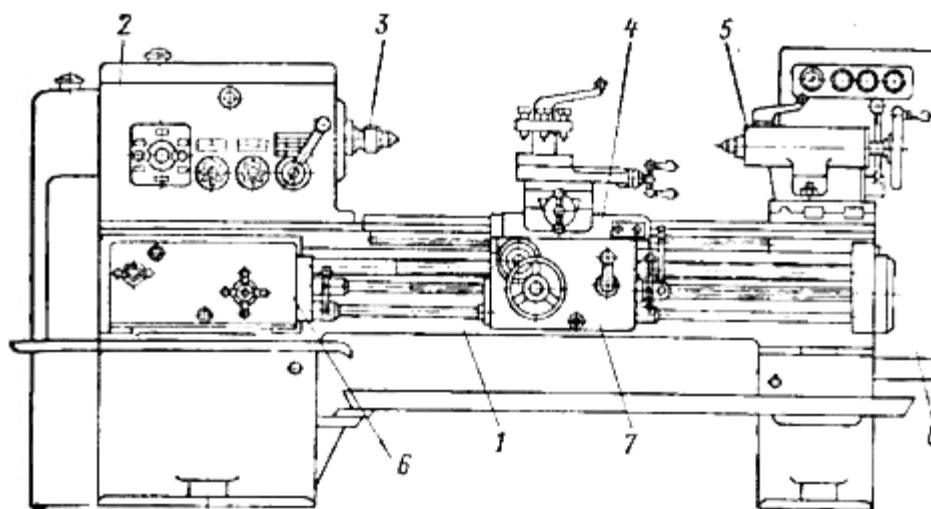


Рисунок 13 – Общий вид универсального токарно-винторезного станка

Основные узлы станка: станина 1, передняя (шпиндельная) бабка 2 с коробкой скоростей и шпинделем 3, суппорт 4, задняя бабка 5, коробка подач 6, фартук 7 и шкаф с электрооборудованием 8.

Станина является основной несущей конструкцией станка. По направляющим станины перемещается нижняя каретка суппорта, а также задняя бабка. Шпиндель представляет собой полый вал, через который можно пропускать прутковый материал при обработке его на станке. На шпиндель наворачивается патрон либо планшайба для закрепления обрабатываемого изделия, а также может устанавливаться передний центр при обработке изделия в центрах.

Суппорт служит для закрепления режущего инструмента (резца) и сообщения ему движений подачи: продольной и поперечной. Фартук соединен с нижней кареткой суппорта и перемещается вместе с ней вдоль станины.

Движение суппорту передается через механизм фартука от ходового вала, либо от ходового винта, которые получают вращение от коробки подач. Ходовой винт используется при нарезании резьб, ходовой вал – при всех других видах обработки.

Задняя бабка используется как вторая опора при обработке в центрах сравнительно длинных изделий. Она имеет выдвижную пиноль, в которой закрепляется задний центр или режущий инструмент для обработки отверстий – сверла, метчики, развертки.

Токарно-револьверные станки предназначены для обработки в серийном производстве деталей сложной формы, в том числе болтов, гаек и др. Процесс обработки на этих станках состоит из нескольких последовательных операций, во время которых используются различные инструменты: резцы, сверла, метчики и др., закрепленные в так называемой револьверной головке, которая устанавливается на суппорте.

Карусельные станки являются разновидностью токарных станков. Их применяют для наружной обточки и внутренней расточки цилиндрических поверхностей, обточки торцов на крупных деталях большого диаметра (до 13 м и более), но сравнительно небольшой длины, например: заготовок зубчатых колес.

Требования, предъявляемые к электроприводу главного движения и подачи токарных и подобных им станков:

1. Диапазон регулирования скорости вращения для приводов главного движения 50...1000; для привода подачи – до 10000;

2. Для электропривода главного движения регулирование скорости должны быть двухзонным с постоянным моментом до номинальной (основной скорости) и постоянной мощностью для скорости выше номинальной. Для привода подачи регулирование скорости производится при постоянном моменте;

3. Высокая жесткость механических характеристик во всем диапазоне регулирования скорости.

Системы ЭП токарных станков

ЭП главного движения (вращение шпинделя):

- АД с КЗР с коробкой скоростей
- Многоскоростной АД с КЗР с коробкой скоростей (переключение скорости необходимо на ходу)
- ТП – ДПТ НВ + коробка скоростей (тяжелые токарные и карусельные станки)
- ТП – ДПТ НВ (станки со сложным циклом работы; высокоточные)

ЭП подачи (инструмента):

- От главного двигателя через многоступенчатые коробки подач (возможность нарезания резьбы)
- ТП – Д (тяжелые токарные и карусельные станки)

1.3.3 Расточные станки

Расточные станки применяются главным образом для обработки крупных деталей различными инструментами, при этом можно выполнять разнообразные работы: растачивание цилиндрических и конических поверхностей резцами на борштанге, сверление отверстий сверлами, цилиндрическое и торцевое фрезерование; нарезание наружной и внутренней резьбы; обтачивание цилиндрических поверхностей и торцов. Особенностью расточных станков является возможность с одной установки детали обрабатывать в ней различные отверстия со взаимно параллельными и перпендикулярными осями.

На рисунке 14 показан общий вид горизонтально-расточного станка общего назначения.

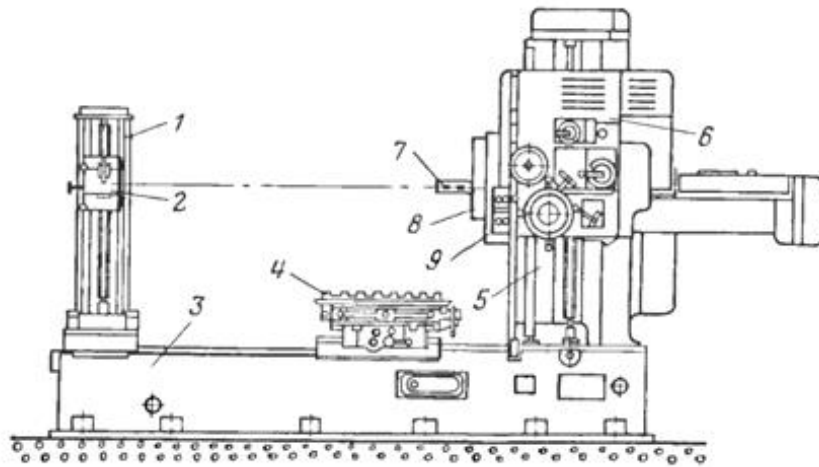


Рисунок 14 – Общий вид горизонтально-расточного станка

На его станине 3 справа закреплена передняя неподвижная стойка 5. По вертикальным направляющим стойки перемещается шпиндельная бабка 6 с коробкой скоростей и коробкой подачи. С левой стороны станины установлена задняя стойка 1, которую можно перемещать по направляющим станины. На задней стойке имеется люнет 2 с опорным подшипником для поддержки борштанги и обеспечения ей борштанги и обеспечения ей необходимой жесткости в процессе резания.

Между стойками на направляющих станины расположен поворотный стол 4, который может совершать движения подачи в продольном и поперечном направлениях.

Главным движением станка является вращение расточного шпинделя 7 или планшайбы 9, которое осуществляется от электродвигателя, установленного в верхней части шпиндельной бабки.

Движение подачи сообщается инструменту (осевое перемещение шпинделя или вертикальное перемещение шпиндельной бабки по направляющим стойки), либо обрабатываемой заготовке, располагаемой на столе.

Обрабатываемая заготовка закрепляется на столе станка. Режущие инструменты устанавливаются в шпинделе или в радиальном суппорте 8 планшайбы. При расточке коротких отверстий подача сообщается шпинделю.

При обработке длинных и соосных отверстий с использованием борштанги подача сообщается столу в продольном направлении.

Координатно-расточные станки применяются для обработки отверстий с высокой точностью (в пределах 0,005—0,01 мм) без предварительной разметки поверхности детали. Для измерения установочных перемещений подвижных узлов станка применяют зеркальные линейки или валики. На координатно-расточных станках можно производить сверление, разметку, а также всевозможные расточные работы и фрезерование торцевыми фрезами.

К электроприводам расточных станков предъявляются следующие требования:

1. Необходим большой диапазон регулирования частоты вращения шпинделя, достигающий в современных станках до 250 : 1 и более;
2. Обеспечение диапазона регулирования скорости подачи до (1500 – 2000) : 1, так как необходимо обеспечить рабочие подачи и быстрые установочные перемещения;
3. Отклонение скорости подачи не должно превышать 10% начального значения при изменении момента от нуля до $M_{с.ном}$;
4. Необходимо высокое быстродействие и обеспечение точной остановки;
5. Для получения высокого качества обрабатываемой поверхности желательно иметь бесступенчатое изменение частоты вращения шпинделя;
6. При обработке деталей происходит выдвигание расточного шпинделя, что делает целесообразным изменение на ходу станка скорости резания и подачи.

Типовые схемы ЭП расточных станков

Главный привод расточных станков:

- АД с КЗР с многоступенчатой коробкой скоростей
- Многоскоростной АД с КЗР с коробкой скоростей
- ДПТ с двух- или трехступенчатой коробкой скоростей (в тяжелых станках)
- ТП – ДПТ НВ двухзонное регулирование скорости (в тяжелых станках)

Привод подачи расточных станков:

- ТП – Д

1.3.4 Фрезерные станки

Фрезерные станки предназначены для обработки наружных и внутренних плоских и фасонных поверхностей, прорезки прямых и винтовых канавок, нарезки резьб наружных и внутренних, зубчатых колес и т. п. Характерная особенность фрезерных станков – работа вращающимися многолезвийными режущими инструментами – фрезами.

Главным движением является вращение фрезы, движением подачи – перемещение изделия. Каждое из лезвий фрезы снимает стружку в течение лишь доли оборота фрезы, причем сечение стружки непрерывно меняется от нуля до наибольшей величины.

Фрезерные станки делятся на две основные группы:

- 1) станки общего назначения – горизонтальные, вертикальные и продольно-фрезерные станки;
- 2) специализированные станки – зубофрезерные, копировально-фрезерные и др.

Вертикально-фрезерный станок показан на рисунке 15. Основные узлы станка: станина 1, в верхней части которой расположена поворотная фрезерная головка 2, консоль 5, несущая салазки 4, рабочий стол 3. Консоль может передвигаться вверх и вниз по вертикальным направляющим станины. По горизонтальным направляющим консоли перемещаются салазки 4, а по направляющим салазок – рабочий стол.

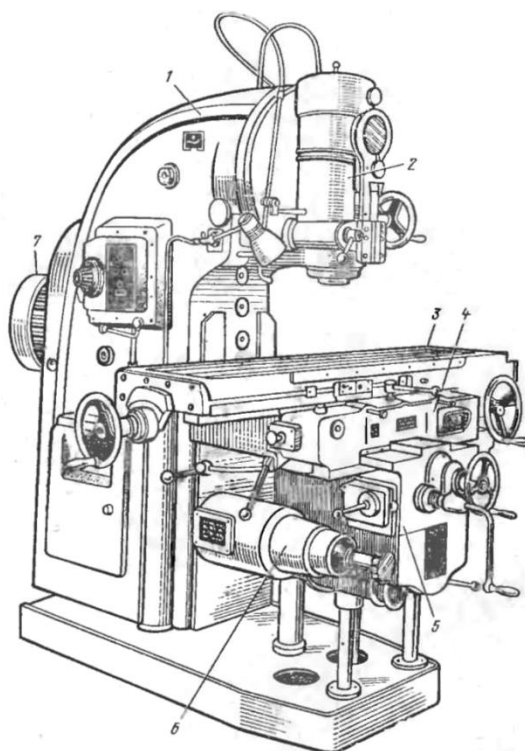


Рисунок 15 – Общий вид вертикально-фрезерного станка

Таким образом, станок имеет три взаимно перпендикулярных движения подачи, осуществляемых через коробку подач 6 от встроенного внутри нее асинхронного двигателя. Вращение фрезе сообщается от двигателя 7 через коробку скоростей, расположенную внутри станины. Вертикально-фрезерные станки применяются главным образом для обработки плоскостей торцевыми фрезами, а также для фрезерования пазов, шпоночных канавок и т. п.

Горизонтально-фрезерные станки отличаются от вертикально-фрезерных расположением шпинделя, ось которого устанавливается горизонтально. Эти станки применяются для обработки плоскостей цилиндрическими фрезами, для прорезания канавок дисковыми фрезами, для обработки линейных поверхностей фасонными фрезами и т. п.

Обработка фрезерованием горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей крупногабаритных тяжелых деталей производится на продольно-фрезерных станках, по внешнему виду напоминающих продольно-строгальные. На траверсе и стойках располагаются шпиндельные бабки с цилиндрическими или торцевыми фрезами, осуществляющие главное (вращательное) движение в этих станках. Продольная подача сообщается столу с деталью, вертикальная и поперечная — инструменту.

К электроприводам фрезерных станков предъявляются следующие требования:

1. Диапазон регулирования угловых скоростей шпинделя $D = 20 \dots 60$ при сохранении постоянства отдаваемой электродвигателем мощности.

2. Изменения угловой скорости шпинделя в процессе обработки, как правило, не требуется, поэтому для фрезерных станков обычно применяется ступенчатое регулирование скорости главного привода.

3. Диапазон регулирования подачи $D \leq 20 \dots 30$ (у тяжелых продольно-фрезерных станков $D \leq 40 \dots 60$)

4. В станках, на которых не производятся зуборезные работы, для привода подачи целесообразно применять отдельные электродвигатели, что значительно упрощает конструкцию станка.

Типовые схемы ЭП фрезерных станков

Привод главного движения (фрезы):

- АД с КЗР + коробка скоростей
- Многоскоростной АД с КЗР + коробка скоростей

Привод подачи (изделия (стола)):

- от главного двигателя через многоступенчатую коробку подач
- ТП – Д (привод стола и фрезерных головок у продольно-фрезерных станков)

Вспомогательные электроприводы фрезерных станков: электроприводы насосов охлаждения, смазки и гидросистем, быстрого перемещения фрезерных головок и поперечин у продольно-фрезерных станков осуществляются от отдельных асинхронных электродвигателей.

1.3.5 Сверлильные станки

Сверлильные станки служат для получения сквозных и глухих отверстий в деталях с помощью сверл, для развертывания и чистовой обработки отверстий, предварительно полученных литьем или штамповкой, и для выполнения других операций. В сверлильных станках главное движение и движение подачи сообщаются инструменту. К станкам общего назначения относятся вертикально-сверлильные и радиально-сверлильные станки.

На рисунке 16 показан общий вид радиально-сверлильного станка. Станок состоит из фундаментной плиты 1 с установленной на ней неподвижной колонной, на которую надета пустотелая гильза 2. Гильза может поворачиваться

вокруг колонны на 360° . На гильзу надет горизонтальный рукав (траверса) 4, который можно поднимать и опускать вдоль колонны с помощью вертикального винта механизма перемещения 3.

Закрепление гильзы с рукавом на колонне (зажим колонны) производится разрезным кольцом, которое стягивается посредством дифференциального винта, вращаемого вручную или отдельным электродвигателем.

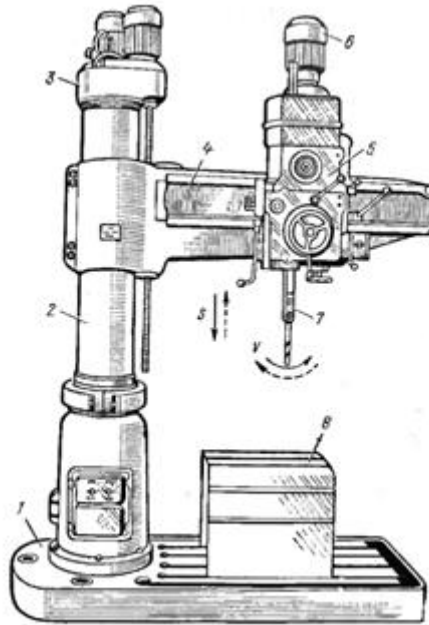


Рисунок 16 – Общий вид радиально-сверлильного станка

По горизонтальным направляющим рукава может перемещаться в радиальном направлении шпиндельная бабка (сверлильная головка) 5. Обрабатываемая деталь устанавливается на столе 8. От главного электродвигателя 6 сообщается вращение шпинделю 7 и производится подача инструмента (сверла).

К электроприводам сверлильных станков предъявляются следующие требования:

1. Диапазон регулирования скорости главного движения составляет $D = 2 \dots 120$;
2. Диапазон регулирования скорости подачи $D = 2 \dots 40$;
3. Привод шпинделя должен быть реверсивным, если на станке производится нарезание резьбы;
4. Схема управления должна ограничивать перемещение траверсы;
5. Должна быть предусмотрена блокировка, не допускающая включения двигателя перемещения траверсы, когда она зажата;
6. Не допускается работа станка с незажатой колонной.

Системы ЭП сверлильных станков

Главный привод сверлильных станков:

- АД с КЗР с многоступенчатой коробкой скоростей
- Многоскоростной АД с КЗР с коробкой скоростей

Привод подачи сверлильных станков обычно выполняется от главного двигателя, для чего коробка подач располагается на шпиндельной бабке.

Для привода перемещения рукава (траверсы) и зажима колонны применяют отдельные асинхронные электродвигатели.

1.3.6 Шлифовальные станки

Шлифовальные станки применяются для чистовой обработки деталей шлифовальными абразивными кругами, снимающими с поверхности детали тонкий слой металла. На шлифовальных станках можно обрабатывать плоские, цилиндрические наружные и внутренние поверхности, шлифовать зубья шестерен, затачивать различные инструменты и т. д. Шлифовальные станки бывают общего и специального назначения.

Станки общего назначения делятся на следующие основные типы:

- а) круглошлифовальные;
- б) внутришлифовальные;
- в) плоскошлифовальные;
- г) бесцентровые кругло- и внутришлифовальные.

Специализированные шлифовальные станки предназначаются для получения весьма чистых (гладких) поверхностей – доводочные, отделочные станки и другие, либо для выполнения определенных операций над различными деталями — резьбошлифовальные, шлицешлифовальные и др.

На рисунке 17а изображена схема процесса наружного шлифования на круглошлифовальном станке. Шлифовальный круг 2 и обрабатываемая деталь 1 вращаются в разные стороны. Вращение детали создает круговую подачу $v_{и}$ вращение шлифовального круга – главное движение – скорость резания $v_{к}$.

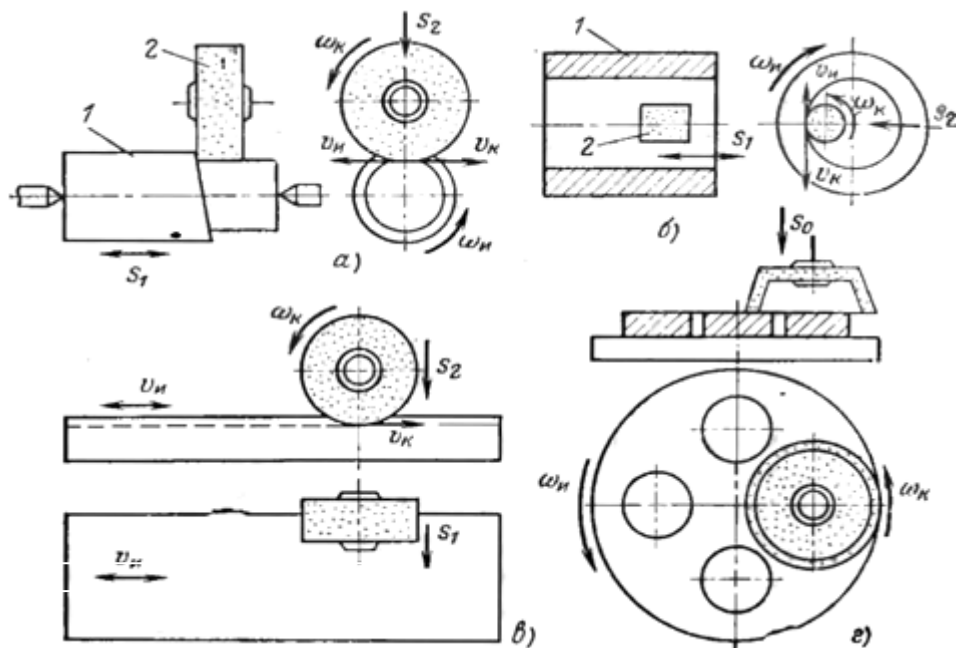


Рисунок 17 – Схемы движений в шлифовальных станках

Для обработки детали по длине, если она превышает ширину круга, стол станка с установленной на нем деталью совершает возвратно-поступательное движение (создает продольную подачу s_1). Шлифовальный круг совершает поперечное периодическое перемещение относительно детали – поперечную подачу s_2 (подачу на глубину резания).

В тяжелых круглошлифовальных станках при больших размерах обрабатываемых деталей продольное перемещение совершает шлифовальная бабка с кругом, а стол с деталью, закрепленной в передней и задней бабках, остается неподвижным.

Внутришлифовальные станки предназначены для шлифования внутренних цилиндрических, конических и других поверхностей тел вращения (рис. 17б). Обычно у таких станков обрабатываемая деталь вращается вокруг оси шлифуемого отверстия, осуществляя круговую подачу $v_{и}$. Шлифовальный круг вращается вокруг своей оси, создавая скорость резания $v_{к}$. Продольная подача s_1 получается за счет возвратно-поступательного движения шлифовального круга или детали. Поперечная подача s_2 производится путем периодического поперечного перемещения шлифовальной бабки в конце каждого прохода поверхности обрабатываемой детали.

Плоскошлифовальные станки предназначены для обработки наружных поверхностей плоских деталей. По форме стола, на котором закрепляются шлифуемые изделия, эти станки подразделяются на станки с прямоугольным и круглым столами, а по расположению шлифовального круга — на станки с горизонтальным и вертикальным шпинделем.

На рисунке 18 показан общий вид плоскошлифовального станка с прямоугольным столом. Его основные узлы: станина 1, стойка 2, шлифовальная бабка 3, рабочий стол 4. Дисковый абразивный круг 5 укрепляется на конце шпинделя шлифовальной бабки. Шлифуемая деталь в зависимости от ее формы, размера и материала закрепляется непосредственно на столе станка, либо на специальной магнитной плите, устанавливаемой на столе.

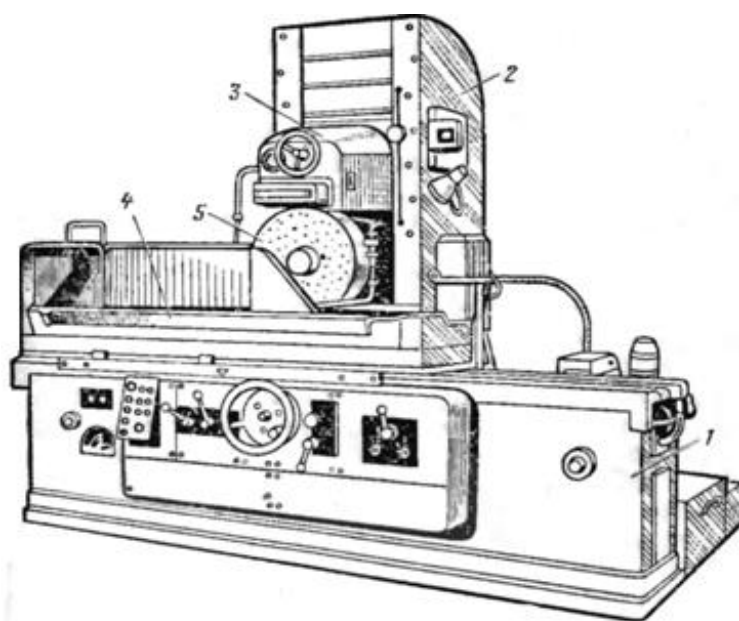


Рисунок 18 – Общий вид плоскошлифовального станка

В плоскошлифовальных станках, кроме главного движения – вращения круга, различают следующие виды движений:

а) в станках с прямоугольным столом и при обработке деталей периферией круга (рис.17в) стол с деталью совершает возвратно-поступательное движение подачи $v_{и}$, шлифовальная бабка (или стол) – периодическое перемещение s_1 на величину, несколько меньшую ширины круга, после каждого хода стола, а круг получает вертикальное перемещение – подачу s_2 на глубину резания – после очередной обработки всей плоскости шлифования.

б) В станках с круглым столом при обработке деталей торцом круга (рис.17г) столу сообщается движение круговой подачи $w_{и}$, а кругу – вертикальное периодическое перемещение S_0 .

К электроприводам шлифовальных станков предъявляются следующие требования:

1. На круглошлифовальных станках при значительных размерах шлифовальных кругов (диаметр до 1000 мм, ширина до 700 мм), применяют понижающие ременные передачи от двигателя к шпинделю и электрическое торможение привода для уменьшения времени остановки.

2. На внутришлифовальных станках обработка ведется кругами небольших размеров, поэтому в них применяют ускоряющие передачи от двигателя к шпинделю или используют специальные высокоскоростные асинхронные двигатели, встраиваемые в корпус шлифовальной бабки. Устройство, в котором короткозамкнутый двигатель и шлифовальный шпиндель конструктивно объединены в один узел, называют электрошпинделем. Частоты вращения таких двигателей 24 000 – 48 000 об/мин, а при малых диаметрах шлифовальных кругов (до 5 – 7 мм) доходят до 150 000 – 250 000 об/мин. Двигатели электрошпинделей питаются от статических преобразователей частоты на тиристорах.

Системы ЭП шлифовальных станков

Главный привод (шлифовального круга):

- АД с КЗР (до 10 кВт)
- ТП – ДПТ НВ (при работе шлифовальный круг постепенно изнашивается и диаметр его уменьшается, что вызывает уменьшения скорости резания. Для получения хорошего качества шлифуемой поверхности и повышения производительности станка необходимо поддерживать скорость резания при износе круга постоянной)

Привод вращения изделия:

- Одно- и многоскоростные АД
- ТП – Д.

Привод подачи (возвратно-поступательное движение стола, продольное и поперечное перемещение шлифовальной бабки):

- от гидропривода (на шлифовальных станках небольших размеров)
- ТП – ДПТ (привода подач тяжелых плоско- и круглошлифовальных станков)
- АД с КЗР (для вращения круглого стола плоскошлифовальных станков)

Для вспомогательных приводов шлифовальных станков (приводы насосов смазки и охлаждения, насосов гидропривода, быстрого перемещения шлифовальной бабки и др.) применяются асинхронные короткозамкнутые двигатели.

1.3.7 Продольно-строгальные станки

Данные станки предназначены в основном для обработки резцами плоских горизонтальных и вертикальных поверхностей у крупных деталей большой длины. На этих станках можно также производить прорезание прямолинейных канавок различного профиля, Т-образных пазов и т.д. Детали средних размеров устанавливаются рядами на столе станка и обрабатываются одновременно.

Продольно-строгальные станки разделяются на одностоечные (с консольной поперечиной) и двустоечные (портального типа). На рисунке 19 показан общий вид двустоечного продольно-строгального станка.

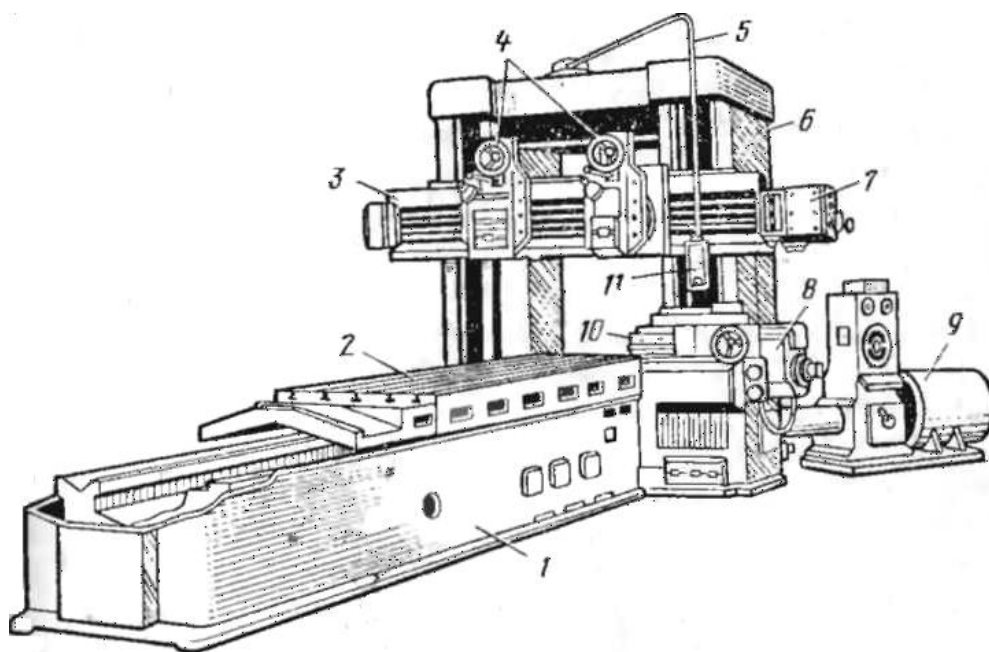


Рисунок 19 – Общий вид двустоечного продольно-строгального станка

Его станина 1 имеет продольные направляющие (плоские и V-образные). По ним возвратно-поступательно движется стол 2, на котором закрепляют обрабатываемую деталь. Перемещение стола – главное движение – осуществляется от электродвигателя 9 через редуктор и реечную передачу, которая состоит из рейки (прямозубой, косозубой или червячной), привернутой снизу к столу по всей его длине, и реечного колеса или расположенного под углом червяка. Снятие стружки с обрабатываемой детали (строгание) происходит при ходе стола вперед (прямой или рабочий ход). Ход стола назад (обратный ход) совершается обычно с повышенной скоростью, и снятие стружки не производится (холостой ход), а резцы в это время автоматически отводятся от обработанной поверхности (поднимаются). Изменение направления движения стола производится или при помощи электромагнитной реверсивной муфты (на

малых станках), или посредством реверсирования главного двигателя (в современных станках).

Сокращение времени реверса имеет свой предел, так как за время реверса у продольно-строгальных станков осуществляется подъем и опускание резцов, а также производится поперечная подача суппортов. Кроме того, с уменьшением времени реверса возрастают динамические нагрузки в передачах станка.

Портал станка 6 образован двумя вертикальными стойками и верхней балкой. К этой балке прикреплена подвеска 5 пульта управления 11. По вертикальным направляющим стоек при помощи ходовых винтов перемещаются поперечина (траверса) 3 и боковой суппорт 10 (некоторые станки имеют два боковых суппорта).

Поперечина имеет горизонтальные направляющие, по которым могут перемещаться вертикальные суппорты 4. Суппорты станка с закрепленными в них резцами осуществляют прерывистую периодическую подачу за время реверса стола с обратного хода на прямой и быстрые установочные перемещения. Движение суппортам передается через коробки подач 7 и 8 от отдельных электродвигателей.

Основными величинами, характеризующими размеры и технологические возможности различных продольно-строгальных станков, являются наибольшая длина строгания (ход стола) L (от 1,5 до 12 м), наибольшая ширина обработки (от 0,7 до 4 м) и наибольшее тяговое усилие на рейке стола F_T (до 30 – 70 кН и более).

К электроприводу главного движения продольно-строгальных станков предъявляются следующие требования:

1. Скорость прямого хода в пределах от 1...2 до 30...60 м/мин, скорость обратного хода $V_{обр} = 40...100$ м/мин;
2. Диапазон регулирования скорости до 50:1;
3. Поддержание заданной угловой скорости двигателя во всем диапазоне регулирования с точностью до $\pm(5...10\%)$ при изменении нагрузки от 0,1 до 1,2 номинального момента;
4. Динамический перепад скорости, вызванный резким приложением нагрузки (при входе резца в металл), не более (10...20)%, а возникший при этом переходный процесс должен заканчиваться в течение 0,1...0,23 с.

К электроприводу подачи продольно-строгальных станков предъявляются следующие требования:

1. Диапазон регулирования скорости (40...80):1;
2. Точность остановки на длине перемещения до 1мм составляет $\pm 10\%$, а на длине свыше 1 мм составляет $\pm 5\%$. Подача на строчку (ход), изменяется от 0,1 до 32 мм;
3. Время наибольшей подачи не должно превышать времени реверса стола станка.

Системы ЭП продольно-строгальных станков

Главного движения (стола):

- АД с КЗР + коробка передач с реверсивной электромагнитной муфтой ($L \leq 3 \dots 4$ м, $F_T \leq 30 \dots 50$ кН; $D = 3 \dots 4$) – легкие станки
- ТП – Д (средние и тяжелые станки)

Подачи (резцов):

- Подача осуществляется механическими, электромеханическими, электрическими или гидравлическими устройствами.

8 Практический материал

8.1 Дидактическое обеспечение

№ п/п	Наименование
1	Слайд «Виды грузоподъемных кранов»
2	Слайд «Конструкция мостового крана»
3	Слайд «Кинематические схемы механизмов мостовых кранов»
4	Презентация «Грузоподъемные краны»
5	Видеоролик «Мостовые краны»
6	Слайд «Конструкция пассажирского лифта»
7	Видеоролик «ЭП лифтов»
8	Слайд «Конструкция ленточного конвейера»
9	Презентация «Классификация конвейеров»
10	Видеоролик «Конвейеры»
11	Слайд «Конструкция компрессоров»
12	Слайд «Конструкция вентиляторов»
13	Слайд «Конструкция центробежного насоса»
14	Видеоролик «Турбомеханизмы»
15	Слайд «Виды механических передач в станках»
16	Слайд «Общий вид универсального токарно-винторезного станка»
17	Презентация «Токарные станки»
18	Видеоролик «Устройство токарного станка»
19	Слайд «Общий вид горизонтально-расточного станка»
20	Презентация «Расточные станки»
21	Видеоролик «Расточные станки»
22	Слайд «Общий вид вертикально-фрезерного станка»
23	Презентация «Фрезерные станки»
24	Видеоролик «Фрезерные станки»
25	Слайд «Общий вид радиально-сверлильного станка»
26	Презентация «Сверлильные станки»
27	Видеоролик «Сверлильные станки»
28	Слайд «Схемы движений в шлифовальных станках»
29	Слайд «Общий вид плоскошлифовального станка»
30	Презентация «Шлифовальные станки»
31	Видеоролик «Шлифовальные станки»
32	Слайд «Общий вид двухстоечного продольно-строгального станка»
33	Презентация «Продольно-строгальные станки»
34	Видеоролик «Продольно-строгальные станки»
35	Видеоролик «Применение преобразователей частоты»
36	Схема электрическая расположения электрооборудования на общем виде установки
37	Схема электрическая принципиальная
38	Схема электрическая соединений
39	Схема электрическая подключения

8.2 Материалы для расчетов

Расчет статических нагрузок

Статические нагрузки (статическая мощность, момент, усилие) рассчитываются для конкретного промышленного механизма по своим формулам. Рассмотрим некоторые из типовых механизмов.

1 Кран

а) Механизм подъема крана

Статический момент на валу двигателя при подъеме номинального груза, Н·м

$$M_{c,z}^{\uparrow} = \frac{(m_k + m_{ном})g \cdot R_б}{\eta_{п.ном} \cdot j \cdot i}, \quad (1)$$

где m_k – масса крюка, кг;

$m_{ном}$ – масса номинального груза, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$R_б$ – радиус барабана, м;

$\eta_{п.ном}$ – номинальный КПД передаточного механизма, принимается равным 0,75...0,8;

j – передаточное число редуктора;

i – кратность полиспаста.

Статический момент на валу двигателя при опускании номинального груза, Н·м

$$M_{c,z}^{\downarrow} = \frac{(m_k + m_{ном})g \cdot R_б}{j \cdot i} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_{п.ном}}\right) \quad (2)$$

Статический момент на валу двигателя при подъеме крюка, Н·м

$$M_{c,k}^{\uparrow} = \frac{m_k \cdot g \cdot R_б}{\eta_{п} \cdot j \cdot i}, \quad (3)$$

где $\eta_{п}$ – КПД передаточного механизма, определяемый частичной загрузкой механизма.

$$\eta_{п} = \left(\frac{1}{\eta_{п.ном}} + \frac{\alpha}{K_3} - \alpha \right)^{-1},$$

где α – коэффициент постоянных потерь в передаче, который можно принять равным 0,07...0,1;

K_3 – коэффициент загрузки механизма

$$K_3 = \frac{m_k}{m_k + m_{ном}}$$

Статический момент на валу двигателя при опускании крюка, Н·м

$$M_{c,к}^{\downarrow} = M_{c,к}^{\uparrow} (2 \cdot \eta_{п} - 1) \quad (4)$$

б) Механизм передвижения крана

Статический момент, приведенный к валу двигателя, определяется по формуле, Н·м

$$M_c = \frac{K_p (m_{ном} + m_m) g (\mu \cdot r_{ц} + f)}{j \cdot \eta_{п}}, \quad (5)$$

где K_p – коэффициент, учитывающий сопротивление от трения реборд о рельсы и трения токосъемников о троллеи, $K_p = 1,2 \dots 2,0$;

$m_{ном}$ и m_m – масса номинального груза и масса механизма без груза, кг;

μ – коэффициент трения скольжения в подшипниках колес ($\mu = 0,008 \dots 0,015$ для подшипников качения, $\mu = 0,06 \dots 0,12$ для подшипников скольжения);

$r_{ц}$ – радиус цапфы (ступицы) ходового колеса, м;

f – коэффициент трения качения ходовых колес, $f = (0,3 \dots 1,5) 10^{-3}$ м;

$\eta_{п}$ – КПД передаточного механизма, определяемый коэффициентом загрузки механизма

$$K_3 = \frac{m}{m_{ном} + m_m},$$

где m – перемещаемая масса, кг.

2 Лифт

Статическая мощность при подъеме кабины лифта с номинальным грузом, Вт, равна

$$P_c = \frac{(G_k + G_{ном} - G_{пр}) v_{ном}}{\eta_{п.ном}}, \quad (6)$$

где G_k – вес кабины, Н;

$G_{ном}$ – вес номинального поднимаемого груза, Н;

$G_{пр}$ – вес противовеса, Н;

$\eta_{п.ном}$ – номинальный КПД передачи (редуктора).

3 Конвейер

Статическая мощность приводного двигателя конвейера, Вт, равна

$$P_c = \frac{k_3 \cdot F_c \cdot v_{ном}}{\eta_{п}}, \quad (7)$$

где k_3 – коэффициент запаса, равный 1,1...1,35;

F_c – тяговая сила конвейера, Н;

$v_{ном}$ – номинальная скорость тягового органа, м/с;

η_n – КПД передачи, учитывающий потери в барабане или в звездочке и в редукторе.

Значение тяговой силы F_c определяется с помощью тягового расчета конвейера.

Приближенно статическую мощность двигателя, Вт, конвейера можно определить по формуле

$$P_c = \frac{k_3 \cdot Q}{\eta_n} (c \cdot L + H), \quad (8)$$

где k_3 – коэффициент запаса, равный 1,1...1,25;

Q – производительность конвейера, Н/с;

c – опытный коэффициент, определяемый видом конвейера, его длиной и производительностью ($c = 1,1...2$ для ленточных конвейеров, $c = 1,5...2$ для скребковых, $c = 0,2$ для пластинчатых конвейеров);

L – длина трассы, м;

H – высота подъема, м;

η_n – КПД передачи, равный 0,75...0,85.

4 Эскалатор

Статическая мощность, Вт, приводного двигателя эскалатора определяется по формуле

$$P = \frac{Q_n \cdot v \cdot \sin \alpha}{\eta},$$

где Q_n – номинальная нагрузка эскалатора, Н;

α – угол наклона эскалатора, град;

η – КПД эскалатора, равный 0,7...0,8.

$$Q_n = n \cdot c \cdot \varphi \cdot q,$$

где n – число пассажиров, на которое рассчитана ступень (обычно $n = 2$);

c – число ступеней на наклонной части эскалатора;

φ – коэффициент заполнения полотна эскалатора (определяется по графику);

q – вес одного пассажира, приблизительно равный 700...800 Н.

5 Вентилятор

Статическая мощность вентилятора, Вт, определяется по формуле

$$P_c = \frac{k_3 \cdot Q \cdot H}{\eta_B}, \quad (9)$$

где k_3 – коэффициент запаса, равный 1,1... 1,2 при мощности более 5 кВт,
 1,5 – при мощности до 2 кВт, 2,0 – при мощности до 1 кВт;
 Q – производительность вентилятора, м³/с;
 H – напор (давление) газа, Па;
 η_B – КПД вентилятора, обычно равен 0,5...0,75.

$$Q = F \cdot v,$$

$$H = \frac{v^2 \cdot \rho}{2},$$

где F – сечение газопровода, м²;
 v – скорость движения газа, м/с;
 ρ – плотность газа, кг/м³.

6 Насос

Статическая мощность насоса, Вт, определяется по формуле

$$P_c = \frac{k_3 \cdot \rho \cdot g \cdot Q(H_c + \Delta H)}{\eta_{нас}}, \quad (10)$$

где k_3 – коэффициент запаса, равный 1,1... 1,3;
 ρ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 Q – производительность насоса, м³/с;
 H_c – статический напор, м;
 ΔH – потеря напора в трубопроводах насосной установки, м;
 $\eta_{нас}$ – КПД насоса (у поршневых насосов он равен 0,5...0,8,
 у центробежных – 0,4...0,75).

7 Компрессор

а) Поршневой компрессор

Мощность двигателя поршневого компрессора, Вт, определяется по приближенной формуле

$$P_c = \frac{k_3 \cdot Q \cdot A}{\eta_k}, \quad (11)$$

где k_3 – коэффициент запаса, равный 1,05...1,15;
 Q – производительность компрессора, м³/с;
 A – работа изотермического и адиабатического сжатия 1 м³ атмосферного воздуха давлением $p_1 = 1,01 \cdot 10^5$ Па до требуемого давления p_2 [Па], Дж/м³;

η_k – КПД компрессора, обычно равен 0,5...0,75.

Для давлений p_2 значения A указаны ниже:

$p_2, 10^5 \text{ Па}$	3	4	5	6	7	8	9	10
$A, 10^3 \text{ Дж/м}^3$	132	164	190	213	230	245	260	272

б) Центробежный

Мощность двигателя центробежного компрессора можно определить по формуле (9).

8 Токарный станок

а) Мощность на валу главного двигателя, Вт, равна

$$P_{c1} = \frac{F_z \cdot v_z}{60 \cdot \eta_1}, \quad (12)$$

где F_z – усилие резания, преодолеваемое шпинделем станка, Н;
 v_z – скорость резания, м/мин;
 η_1 – КПД кинематической цепи главного привода равен 0,7...0,8.
Усилие резания, Н, определяется по формуле

$$F_z = 9,81 \cdot C_{Fz} \cdot t^{X_{Fz}} \cdot S^{Y_{Fz}} \cdot v_z^{n_{Fz}},$$

где C_{Fz} – коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал, материал резца и вид токарной обработки;
 t – глубина резания, мм;
 S – подача, мм/об;
 X_{Fz}, Y_{Fz}, n_{Fz} – показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала, резца и вида токарной обработки.
Скорость резания, м/мин, определяется по формуле

$$v_z = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{X_v} \cdot S^{Y_v}},$$

где T – стойкость инструмента (продолжительность работы резца до затупления), мин;
 C_v – коэффициент, характеризующий свойства обрабатываемого материала, резца и вид токарной обработки (наружное точение, обрезка, нарезание резьбы и др.);
 m, X_v, Y_v – показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала, резца и вида токарной обработки.

б) Мощность, затрачиваемая на осуществление подачи суппорта, Вт, равна

$$P_{c2} = \frac{F_{\text{п}} \cdot v_{\text{п}}}{60 \cdot \eta_2}, \quad (13)$$

где $F_{\text{п}}$ – усилие подачи, Н;

$v_{\text{п}}$ – скорость подачи, м/мин;

η_2 – КПД кинематической цепи привода подачи, обычно равен 0,1...0,2.

Суммарное усилие подачи, необходимое для перемещения суппорта с резцом в направлении подачи, определяется по формуле

$$F_{\text{п}} = F_x + (F_z + F_y)\mu,$$

где F_x – осевое усилие, преодолеваемое механизмом подачи, Н;

F_y – радиальное усилие, передаваемое через резцедержатель на суппорт станка, Н;

μ – коэффициент трения в направляющих суппорта, равный 0,05...0,08.

Усилия F_x и F_y принимаются равными

$$F_x = (0,2...0,3)F_z,$$

$$F_y = (0,3...0,5)F_z$$

9 Сверлильный станок

а) Мощность на валу главного двигателя, Вт, равна

$$P_{c1} = \frac{M \cdot n_{\text{шп}}}{9,55 \cdot \eta_1}, \quad (14)$$

где M – вращающий момент на шпинделе при сверлении, Н·м;

$n_{\text{шп}}$ – частота вращения шпинделя, об/мин;

η_1 – КПД передачи, принимается приблизительно равным 0,8.

Вращающий момент на шпинделе, Н·м, равен

$$M = 9,81 \cdot C_M \cdot D^{q_M} \cdot S^{y_M},$$

где C_M – коэффициент, зависящий от материала заготовки и сверла;

D – диаметр сверла, мм;

S – подача, мм/об;

q_M, y_M – показатели степени, зависящие от материала заготовки и диаметра сверла.

Скорость резания при сверлении, м/мин, равна

$$v = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot S^{y_v}},$$

где C_v – коэффициент, зависящий от материала заготовки и сверла;
 T – стойкость сверла, мин;

m, q_v, y_v – показатели степени, зависящие от материала заготовки и диаметра сверла.

Частота вращения шпинделя, об/мин, определяется по формуле

$$n_{\text{шп}} = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}$$

б) Мощность двигателя подачи, Вт, определяется по формуле

$$P_{c2} = \frac{F_{п, \max} \cdot v_{п, \max}}{60 \cdot \eta_2}, \quad (15)$$

где $F_{п, \max}$ – наибольшее усилие подачи, действующее на рабочей части диапазона, Н;

$v_{п, \max}$ – наибольшая скорость быстрого перемещения, м/мин;

η_2 – КПД кинематической цепи привода подачи, обычно равен 0,1...0,2.

10 Фрезерный станок

а) Мощность на валу главного двигателя, Вт, равна

$$P_{c1} = \frac{F_z \cdot v_z}{60 \cdot \eta_{ст}}, \quad (16)$$

где F_z – усилие резания или окружное усилие при фрезеровании, Н;

v_z – нормативная скорость резания при фрезеровании, м/мин;

$\eta_{ст}$ – КПД станка при номинальной нагрузке, равно 0,75...0,8.

Усилие резания при фрезеровании, Н, равно

$$F_z = \frac{9,81 \cdot C_F \cdot t^{x_F} \cdot S_z^{y_F} \cdot B^{u_F} \cdot Z}{D^{q_F} \cdot n^{w_F}},$$

где t – глубина фрезерования, мм;

S_z – подача на зуб фрезы, мм;

B – ширина фрезерования, мм;

Z – число зубьев фрезы, шт.;

D – диаметр фрезы, мм;

n – частота вращения фрезы, об/мин.

$C_F, x_F, y_F, u_F, q_F, w_F$ – коэффициент и показатели степени, зависящие от материала заготовки и фрезы.

Скорость резания при фрезеровании, м/мин, равна

$$v_z = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_z^{y_v} \cdot B^{u_v} \cdot Z^{p_v}},$$

где T – стойкость фрезы, мин;

C_v, x_v, y_v, u_v, p_v – коэффициент и показатели степени, зависящие от материала заготовки и фрезы.

б) Мощность двигателя подачи

В случае регулирования угловой скорости только изменением напряжения на обмотке якоря, мощность двигателя, Вт, определяется наибольшим тяговым усилием на столе $F_{T,max}$, наибольшей скоростью быстрого перемещения $v_{пер,max}$ стола и потерями в передаче $\eta_{п} = 0,2 \dots 0,3$.

Расчетная формула имеет вид

$$P_{c2} = \frac{F_{T,max} \cdot v_{пер,max}}{60 \cdot \eta_{п}} \quad (17)$$

11 Шлифовальный станок

Мощность резания [кВт] определяется по формулам:

а) при шлифовании периферией круга

$$P_z = C_p \cdot v_{и}^r \cdot t^X \cdot S^Y \cdot d^q, \quad (18)$$

б) при шлифовании торцом круга

$$P_z = C_p \cdot v_{и}^r \cdot t^X \cdot B^Z, \quad (19)$$

где C_p – коэффициент, характеризующий материал изделия и твердость круга;

$v_{и}$ – окружная скорость детали или скорость движения стола, м/мин;

t – глубина шлифования, мм;

S – подача в направлении оси шлифовального круга (продольная или поперечная) в миллиметрах на один оборот детали или в долях ширины круга на один двойной ход стола;

d – диаметр шлифования, мм;

B – ширина шлифования, мм;

C_p, r, X, Y, q, Z – показатели степени, характеризующие материал заготовки и твердость круга

12 Расточной станок

- а) Мощность на валу главного двигателя определяется по формуле (12).
б) Мощность двигателя подачи определяется по формуле (15).

Значения показателей степени и коэффициентов в формулах для определения мощности, усилия и скорости резания берутся из справочников по режимам резания.

13 Продольно-строгальный станок

Мощность на валу двигателя при прямом ходе стола, Вт, определяется для наиболее тяжелого режима по формуле

$$P_{\text{дв.пр}} = \frac{P_z + \Delta P_{\text{напр}}}{\eta_{\text{п}}} = \frac{F_{\text{т,макс}} \cdot v_{\text{пр1}}}{60 \cdot \eta_{\text{п}}}, \quad (20)$$

где P_z – мощность резания, Вт;

$\Delta P_{\text{напр}}$ – мощность потерь на трение стола о направляющие при прямом ходе, Вт;

$\eta_{\text{п}}$ – КПД передачи при полной нагрузке;

$F_{\text{т,макс}}$ – наибольшее тяговое усилие на рейке стола, Н;

$v_{\text{пр1}}$ – наибольшая скорость прямого хода стола, м/мин.

Мощность резания определяют по формуле

$$P_z = \frac{F_{z,\text{макс}} \cdot v_{\text{пр1}}}{60},$$

где $F_{z,\text{макс}}$ – наибольшее усилие резания, Н.

Мощность потерь на трение стола о направляющие при прямом ходе равна

$$\Delta P_{\text{напр}} = \frac{(G_{\text{дет}} + G_{\text{ст}}) \cdot \mu \cdot v_{\text{пр1}}}{60},$$

где $G_{\text{дет}}$ – наибольший вес обрабатываемой детали, Н;

$G_{\text{ст}}$ – вес стола, Н;

μ – коэффициент трения стола о направляющие, равным 0,05...0,08.

Наибольшее тяговое усилие на рейке стола равно

$$F_{\text{т,макс}} = F_{z,\text{макс}} + (G_{\text{дет}} + G_{\text{ст}} + F_x + F_y) \mu,$$

где F_x и F_y – составляющие усилия резания, Н.

Мощность на валу двигателя при прямом ходе стола вхолостую, Вт, определяется по формуле

$$P_{дв.пр,x} = 0,6 \cdot \Delta P_{нагр} + \Delta P_{нагр}, \quad (21)$$

где $\Delta P_{нагр}$ – мощность потерь в передачах станка при прямом ходе со скоростью $v_{пр}$ и полной нагрузке, Вт.

$$\Delta P_{нагр} = \frac{P_{дв.пр} (1 - \eta_{п}) v_{пр}}{v_{пр1}},$$

$$\Delta P_{нагр} = \frac{(G_{дет} + G_{ст}) \cdot \mu \cdot v_{пр}}{60}$$

Мощность на валу двигателя при обратном ходе стола, Вт, равна

$$P_{дв.обр} = \frac{P_{дв.пр,x} \cdot v_{обр}}{v_{пр}}, \quad (22)$$

где $v_{обр}$ – скорость обратного хода стола, м/мин.

Расчет мощности электродвигателей

Мощность электродвигателя предварительно рассчитывается исходя из статической нагрузки механизма и режима работы электродвигателя (основные – продолжительный S1, кратковременный S2, повторно-кратковременный S3).

Продолжительный номинальный режим работы (S1) двигателя характеризуется неизменной нагрузкой в течение времени, за которое перегрев всех его частей достигает установившегося значения. Работа двигателя в режиме S1 может происходить с постоянной или переменной циклической нагрузкой. В таком режиме работают электродвигатели насосов, вентиляторов, эскалаторов, транспортеров.

Кратковременный номинальный режим работы (S2) двигателя – режим, при котором периоды работы двигателя с неизменной нагрузкой чередуются с периодами его отключения (остановки); при этом периоды работы не настолько длительны, чтобы превышения температуры могли достигнуть установившегося значения, а периоды остановки настолько длительны, что все его части охлаждаются до температуры окружающей среды. В таком режиме работают электродвигатели зажимных устройств металлорежущих станков, открытия затворов шлюза, разводных мостов.

Повторно-кратковременный номинальный режим работы (S3) двигателя – режим, при котором кратковременные периоды с неизменной нагрузкой чередуются с периодами отключения (паузами), причем как рабочие периоды, так и паузы не настолько длительны, чтобы превышения температуры всех частей двигателя могли достигнуть установившихся значений. В таком режиме работают электродвигатели кранов, лифтов, экскаваторов, подъемно-транспортных механизмов.

Для электродвигателей, работающих в продолжительном режиме с неизменной нагрузкой, расчетная мощность двигателя принимается равной

$$P_n = \frac{k_3 \cdot P_c}{\eta_n}, \quad (23)$$

где k_3 – коэффициент запаса по мощности, равный 1,08...1,36;

P_c – статическая мощность механизма;

η_n – КПД механической передачи.

Расчетная (требуемая) мощность электродвигателя, Вт, работающего в продолжительном режиме (S1) с переменной нагрузкой, определяется по формуле

$$P_p = k_3 \cdot P_{c.э}, \quad (24)$$

где $P_{c.э}$ – эквивалентная статическая мощность двигателя, Вт.

Эквивалентная статическая мощность двигателя, Вт, определяется по формуле

$$P_{c.э} = \sqrt{\frac{1}{t_u} \cdot \sum_{i=1}^n P_{c.i}^2 \cdot t_i}, \quad (25)$$

где $P_{c.i}$ – статическая мощность на i -ом интервале нагрузочной диаграммы механизма, Вт;

t_i – продолжительность i -го интервала, с;

t_u – время цикла, с;

n – число рабочих интервалов в цикле.

При кратковременном режиме работы двигателей, отвечающих режиму S2, необходимо чтобы действительное время кратковременной работы t_p было равно одному из стандартных значений времени $t_{p.cm} = 10, 30, 60, 90$ мин, для которого выполнен двигатель. Тогда двигатель выбирается из условия

$$M_{э.ст} = \sqrt{\frac{1}{t_{p.cm}} \cdot M_c^2 \cdot t_p}, \quad (26)$$

$$P_p = k_3 \cdot \omega_n \cdot M_{э.ст}, \quad (27)$$

где $M_{э.ст}$ – эквивалентный статический момент, Н·м;

M_c – статический момент на валу двигателя;

ω_n – номинальная скорость двигателя, рад/с.

Если $t_p \neq t_{p.cm}$, то предварительно выбирается двигатель, имеющий по каталогу значения $t_{p.cm}$ и P_n , ближайшие к заданным значениям t_p и $M_{э.ст}$.

Расчетная (требуемая) мощность электродвигателя, Вт, работающего в повторно-кратковременном режиме (S3) определяется по формуле

$$P_p = k_3 \cdot P_{c.э}(ПВ_{cm}), \quad (28)$$

где $P_{c.э}(ПВ_{cm})$ – эквивалентная статическая мощность при стандартной продолжительности включения двигателя, Вт.

Эквивалентная статическая мощность двигателя, Вт, при стандартной продолжительности включения ($ПВ_{ст}$) равна

$$P_{c.э}(ПВ_{cm}) = P_{c.э}(ПВ) \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_{cm}}}, \quad (29)$$

где $P_{c.э}(ПВ)$ – эквивалентная статическая мощность при реальной продолжительности включения двигателя, Вт;

$ПВ$ – реальная продолжительности включения двигателя, % ;

$ПВ_{cm}$ – стандартная продолжительность включения, на которую изготавливаются двигатели. $ПВ_{cm} = 15, 25, 40, 60$ % .

Эквивалентная статическая мощность, Вт, при реальной продолжительности включения двигателя равна

$$P_{c.э}(ПВ) = \sqrt{\frac{1}{t_p} \cdot \sum_{i=1}^n P_{ci}^2 \cdot t_i}, \quad (30)$$

где t_p – продолжительность работы электродвигателя за время цикла, с.

Реальная продолжительность включения двигателя, % , равна

$$ПВ = \frac{t_p}{t_u} \cdot 100\% . \quad (31)$$

Время цикла, с , определяется по формуле

$$t_u = t_p + t_0, \quad (32)$$

где t_0 – время пауз (когда двигатель отключен), с.

Выбор электродвигателя осуществляется по условию

$$P_n \geq P_p, \quad (33)$$

где P_n – номинальная мощность двигателя, выбранная по справочнику, Вт.

9 Самоконтроль знаний

9.1 Вопросы к обязательной контрольной работе №1

Уровень понимания (max 7 баллов)

1. Поясните этапы проектирования автоматизированных ЭП. Приведите классификацию общепромышленных установок.
2. Приведите классификацию общепромышленных установок. Перечислите общие требования к автоматизированным ЭП и поясните их.
3. Приведите классификацию и опишите устройство грузоподъемных кранов. Перечислите требования, предъявляемые к ЭП крановых механизмов. Назовите типовые схемы ЭП кранов.
4. Приведите классификацию и опишите устройство лифтов. Перечислите требования, предъявляемые к ЭП лифтов. Назовите типовые схемы ЭП лифтов.
5. Приведите классификацию и опишите устройство конвейеров. Перечислите требования, предъявляемые к ЭП конвейеров. Назовите типовые схемы ЭП конвейеров.
6. Поясните назначение и приведите классификацию турбомеханизмов. Перечислите способы регулирования производительности турбомеханизмов. Назовите типовые схемы ЭП турбомеханизмов.
7. Поясните назначение и виды токарных станков. Назовите главное движение и движение подачи токарных станков. Перечислите требования, предъявляемые к ЭП токарных станков. Назовите типовые схемы ЭП токарных станков.
8. Поясните назначение и виды сверлильных станков. Назовите главное движение и движение подачи сверлильных станков. Перечислите требования, предъявляемые к ЭП сверлильных станков. Назовите типовые схемы ЭП сверлильных станков.
9. Поясните назначение и виды расточных станков. Назовите главное движение и движение подачи расточных станков. Перечислите требования, предъявляемые к ЭП расточных станков. Назовите типовые схемы ЭП расточных станков.
10. Поясните назначение и виды фрезерных станков. Назовите главное движение и движение подачи фрезерных станков. Перечислите требования, предъявляемые к ЭП фрезерных станков. Назовите типовые схемы ЭП фрезерных станков.
11. Поясните назначение и виды шлифовальных станков. Назовите главное движение и движение подачи шлифовальных станков. Перечислите требования, предъявляемые к ЭП шлифовальных станков. Назовите типовые схемы ЭП шлифовальных станков.
12. Поясните назначение и виды продольно-строгальных станков. Назовите главное движение и движение подачи продольно-строгальных станков. Перечислите требования, предъявляемые к ЭП продольно-строгальных станков. Назовите типовые схемы ЭП продольно-строгальных станков.
13. Объясните назначение электрических защит в ЭП и назовите их виды. Приведите схемы реализации защиты ЭП от коротких замыканий и перегрузки.

14. Объясните назначение электрических защит в ЭП и назовите их виды. Приведите схемы реализации защиты ЭП от самозапуска, от обрыва обмотки возбуждения и перенапряжения на ней. Объясните, как защищают схемы управления от коротких замыканий.

Уровень применения (максимум 9 баллов)

1. Рассчитать нагрузку на валу электродвигателя строительного подъемника при подъеме номинального груза. Дано: $m_n = 2500$ кг, $m_{\text{тел}} = 690$ кг, $v = 0,7$ м/с.
2. Рассчитать нагрузку на валу приводного двигателя ленточного конвейера и построить его нагрузочную диаграмму. Дано: $v = 0,8$ м/с, $F_{\text{наб}} = 4500$ Н, $F_{\text{п,б}} = 320$ Н, $F_0 = 2300$ Н, $\eta_n = 0,88$.
3. Рассчитать нагрузку на валу электродвигателя при передвижении тележки мостового крана с номинальным грузом. Дано: $m_n = 8$ т, $v = 0,6$ м/с, $D_{\text{х,к}} = 0,32$ м.
4. Рассчитать и построить естественную механическую характеристику ДПТ НВ. Дано: $P_n = 6,7$ кВт, $U_n = 220$ В, $n_n = 3000$ об/мин, $r_{\text{оя}} = 0,12$ Ом, $r_{\text{д,п}} = 0,089$ Ом, $\eta_n = 0,86$.
5. Рассчитать и построить искусственную механическую характеристику электродвигателя постоянного тока при его работе на пониженной скорости $\omega_{\text{пон}} = 0,2 \omega_n$ и моментом нагрузки $M_c = 0,9 M_n$. Регулирование скорости осуществляется изменением напряжения подводимого к якорю двигателя от тиристорного преобразователя. Дано: $P_n = 18,5$ кВт, $U_n = 220$ В, $n_n = 1500$ об/мин, $R = 0,021$ Ом, $k\Phi_n = 1,29$ В·с.
6. Рассчитать и построить естественную механическую характеристику асинхронного двигателя по упрощенной формуле Клосса. Дано: $P_n = 4$ кВт, $n_0 = 1500$ об/мин, $S_n = 5,3$ %, $M_k/M_n = 2,2$, $M_{\text{п}}/M_n = 2$.
7. Выполнить необходимые расчеты и выбрать преобразователь частоты для асинхронного двигателя. Дано: $P_n = 11$ кВт, $U_n = 380$ В, $\eta_n = 0,88$, $\cos\phi_n = 0,9$.
8. Рассчитать требуемую мощность электродвигателя вентилятора. Выбрать тип двигателя и проверить его по условиям нагрева и пуска. Вентилятор непосредственно соединен с электродвигателем. Дано: $Q = 7,5$ м³/с, $H = 920$ Па, $\eta_v = 0,65$, $n_n = 1500$ об/мин.
9. Рассчитать требуемую мощность электродвигателя центробежного насоса. Выбрать тип двигателя и проверить его по условиям нагрева и пуска. КПД передачи принять равным 0,94. Дано: $Q = 95$ м³/ч, $H_c = 55$ Па, $\Delta H = 4,8$ м, $\rho = 1000$ кг/м³, $\eta_n = 0,55$, $n_n = 3000$ об/мин.
10. Рассчитать требуемую мощность электродвигателя механизма работающего в режиме S1. Выбрать тип двигателя и проверить его по условиям нагрева, перегрузочной способности и пуска. Дано: $M_{c1} = 140$ Н·м, $M_{c2} = 280$ Н·м, $M_{c3} = 190$ Н·м, $t_1 = 3$ мин, $t_2 = 7$ мин, $t_3 = 5$ мин, $\omega_n = 157$ с⁻¹.
11. Рассчитать требуемую мощность электродвигателя механизма работающего в режиме S3. Выбрать тип двигателя и проверить его по условиям нагрева, перегрузочной способности и пуска. Дано: $M_{c1} = 250$ Н·м, $M_{c2} = 320$ Н·м, $t_1 = 45$ с, $t_2 = 65$ с, $t_0 = 10$ с, $PВ_{\text{ст}} = 40$ %, $\omega_n = 314$ с⁻¹.

12. Для защиты асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором от токов короткого замыкания и перегрузки рассчитать и выбрать автоматический выключатель. Дано: $P_n = 3$ кВт, $U_n = 380$ В, $\eta_n = 84,5$ %, $\cos\varphi_n = 0,88$, $I_n/I_n = 6,5$.
13. Для защиты асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором от токов короткого замыкания рассчитать и выбрать плавкие предохранители. Дано: $P_n = 15$ кВт, $U_n = 380$ В, $\eta_n = 88$ %, $\cos\varphi_n = 0,91$, $I_n/I_n = 7,5$.
14. Выбрать сечение медных проводов для ответвления к асинхронному двигателю. Провода прокладываются в пластмассовой трубе в помещении с нормальной окружающей средой ($t = 25^\circ\text{C}$). Асинхронный двигатель защищен автоматическим выключателем с электромагнитным расцепителем ($I_{отс} = 176$ А). Дано: $P_n = 7,5$ кВт, $U_n = 380$ В, $\eta_n = 87,5$ %, $\cos\varphi_n = 0,88$, $I_n/I_n = 7,5$.

В заданиях к ОКР №1 содержатся один вопрос и одна задача. Каждое задание оценивается исходя из максимального количества баллов, которые затем суммируются. В соответствии с оценочной шкалой (таблица 1), учащимся выставляется отметка.

Таблица 1 – Оценочная шкала

Отметка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Баллы	До 3	4-5	6-7	8	9-10	11-12	13	14	15	16

9.2 Тест по учебной дисциплине

Вопросы теста по разделу 1 «ЭП типовых производственных механизмов»

1. К механизмам непрерывного действия не относятся:
 - 1) вентиляторы
 - 2) компрессоры
 - 3) конвейеры
 - 4) насосы
 - 5) лифты

2. Электроприводы механизмов циклического действия не характеризуются:
 - 1) частыми пусками
 - 2) реверсами
 - 3) работой без пауз
 - 4) необходимостью регулирования скорости
 - 5) необходимостью точной остановки.

3. Какое из требований не относится к электроприводам крановых механизмов:
 - 1) обеспечение нереверсивного движения электропривода
 - 2) обеспечение минимальной скорости в зависимости от типа крана и вида механизма в пределах от 0,02 до 0,25 м/с
 - 3) наличие жестких механических характеристик
 - 4) обеспечение регулирования скорости двигателя в широких пределах

4. Какая из ниже приведенных позиций не относится к классификации лифтов:
 - 1) пассажирские
 - 2) автоматические
 - 3) без противовеса
 - 4) высокоскоростные
 - 5) больничные

5. По какой системе выполняется электропривод конвейера:
 - 1) односкоростной АД с релейно-контакторным управлением
 - 2) многоскоростной АД с релейно-контакторным управлением
 - 3) преобразователь частоты – АД
 - 4) тиристорный преобразователь – ДПТ НВ
 - 5) выполняется по всем перечисленным системам

6. Какой из ниже перечисленных механизмов не относится к турбомеханизмам:

- 1) турбинный компрессор
- 2) ротационный компрессор
- 3) поршневой компрессор
- 4) центробежный насос
- 5) осевой вентилятор

7. Какой из способов регулирования производительности турбомеханизмов является самым экономичным:

- 1) дросселирование трубопровода
- 2) изменение угловой скорости приводного двигателя
- 3) изменение положения рабочих органов механизма в процессе регулирования
- 4) изменение числа работающих на магистраль агрегатов

8. Регулирование скорости приводов главного движения металлорежущих станков может осуществляться:

- 1) механическим способом
- 2) электрическим способом
- 3) электромеханическим способом
- 4) любым из выше приведенных способов

9. Какой из типов приводов подачи не применяется в металлорежущих станках:

- 1) от главного привода через механическую передачу;
- 2) от отдельного электродвигателя;
- 3) от пневмопривода
- 4) от гидропривода

10. Какую из механических передач используют в металлорежущих станках для сообщения рабочему механизму поступательного движения:

- 1) винтовую
- 2) зубчатую
- 3) ременную
- 4) цепную
- 5) червячную

11. Главным движением для токарного станка является:

- 1) вращение обрабатываемой заготовки
- 2) вращение инструмента
- 3) подача инструмента
- 4) подача задней бабки

12. Движением подачи для токарного станка является:

- 1) вращение обрабатываемой заготовки
- 2) вращение инструмента
- 3) подача инструмента
- 4) подача задней бабки

13. Главным движением для сверлильного станка является:

- 1) вращение обрабатываемой заготовки
- 2) вращение инструмента
- 3) подача инструмента
- 4) подача стола

14. Движением подачи для сверлильного станка является:

- 1) вращение обрабатываемой заготовки
- 2) вращение инструмента
- 3) подача инструмента
- 4) подача стола

15. Главным движением для фрезерного станка является:

- 1) вращение обрабатываемой заготовки
- 2) вращение инструмента
- 3) подача инструмента
- 4) подача стола (изделия)

16. Движением подачи для фрезерного станка является:

- 1) вращение обрабатываемой заготовки
- 2) вращение инструмента
- 3) подача инструмента
- 4) подача стола (изделия)

17. Главным движением для плоскошлифовального станка с прямоугольным столом является:

- 1) вращение шлифовального круга
- 2) подача шлифовального круга
- 3) вращение стола
- 4) возвратно-поступательное движение стола

10 Перечень учебных изданий и информационно-аналитических материалов, рекомендуемых для изучения учебной дисциплины

ЛИТЕРАТУРА

Основная

- Автоматизированный** электропривод промышленных установок : учеб. пособие / под общ ред. Г.Б. Онищенко. М., 2001.
- Александров, К.К.** Электротехнические чертежи и схемы / К.К. Александров, Е.Г. Кузьмина. М., 1990.
- Белов, М.П.** Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. 3-е изд., испр. М., 2007.
- Зимин, Е.Н.** Электрооборудование промышленных предприятий и установок : учебник для техникумов / Е.Н. Зимин, В.И. Преображенский, И.И. Чувашов. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1981.
- Фираго, Б.И.** Расчеты по электроприводу производственных машин и механизмов : учеб. пособие / Б.И. Фираго. Минск, 2012.

Дополнительная

- Алиев И.И.** Справочник по электротехнике и электрооборудованию : Учеб. пособие для вузов / И.И. Алиев. 2-е изд., доп. М., 2000.
- Архангельский, Г.Г.** Основы расчета и проектирования лифтов : учеб. пособие / Г.Г. Архангельский, А.А. Ионов. М., 1985.
- Ильинский, Н.Ф.** Электропривод. Энерго- и ресурсосбережение : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.Ф. Ильинский, В.В. Москаленко. М., 2008.
- Коломиец, А.П.** Электропривод и электрооборудование комплексов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева, И.Р. Владыкин, С.И. Юран. М., 2007.
- Ключев, В.И.** Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов : Учебник для вузов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. М., 1980.
- Москаленко, В.В.** Системы автоматизированного управления электропривода : Учебник / В.В. Москаленко. М., 2004.
- Онищенко, Г.Б.** Электрический привод : Учебник для вузов / Г.Б. Онищенко. М., 2003.
- Радкевич В.Н.** Проектирование систем электроснабжения : Учеб. пособие / В.Н. Радкевич. Минск, 2001.
- Спиваковский, А.О.** Транспортирующие машины : учеб. пособие для машиностроительных вузов. 3-е изд., перераб. / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков. М., 1983.

Справочник технолога-машиностроителя. В двух томах / под ред. А.Н. Малова. 3-е изд., перераб. Том 2. М., 1972.

Черпаков, Б.И. Металлорежущие станки : Учебник для нач. проф. образования / Б.И. Черпаков, Т.А. Альперович М., 2003.

Яуре, А.Г. Крановый электропривод : Справочник / А.Г. Яуре, Е.М. Певзнер. М., 1988.

Технические нормативные правовые акты

ГОСТ 2.701 – 2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

ГОСТ 2.710 – 81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.

ГОСТ 2.721 – 74 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.

ГОСТ 2.702 – 2011 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.

ГОСТ 2.755 – 87 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения.

ГОСТ 2.105 – 95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.722 – 68 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Машины электрические.

ГОСТ 2.723 – 68 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители.

ГОСТ 2.727 – 68 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Разрядники, предохранители.

ГОСТ 2.728 – 74 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Резисторы, конденсаторы.

ГОСТ 2.730 – 73 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Приборы полупроводниковые.

ГОСТ 2.756 – 76 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Воспринимающая часть электромеханических устройств.