

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Кожедеров Александр Игоревич
Должность: Директор филиала ИндИ (филиал) ФГБОУ ВО "ЮГУ"
Дата подписания: 16.07.2026 23:52:52
Уникальный программный ключ: 7f4522f81a862743c2711b37d9dd0f6adf40c4c8

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Автоматизированный электропривод

Направление подготовки (специальности): 13.03.02 *Электроэнергетика и электротехника*

Профиль: *Электроэнергетика и электротехника (ИндИ)*

Форма обучения
Очно-заочная

Квалификация выпускника
Бакалавр

2026 год набора

Виды работ	Объём занятий по семестрам, час										Итого
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Самостоятельная работа					84						84
Дистанционные лекции					12						12
Дистанционные практические занятия					12						12
Форма контроля					Дифференцированный зачет						-
Итого:					108						108
з.е.					3						3

Ханты-Мансийск, 2026 год
(город)

Предисловие

1. Программа разработана в соответствии с требованиями Федерального закона от 27.12.2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) *13.03.02 Электроэнергетика и электротехника* утвержденного № 144 от 28.02.2018 года.

2. Разработчик(и):

_____	_____	_____
ученая степень, ученое звание (при наличии)	(подпись)	Е. А. Дюба (И. О. Фамилия)

3. Согласовано:

Руководитель образовательной программы _____ по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика _____ и электротехника _____	_____	_____
	(подпись)	Г. В. Газя (И. О. Фамилия)

4. Утверждаю:

Руководитель структурного подразделения Индустриальный институт (г. Нефтеюганск) _____	_____	_____
	(подпись)	А. П. Янукян (И. О. Фамилия)

Документ подписан простой электронной подписью в
электронной информационно образовательной среде
Elios 2.0 ФГБОУ ВО «ЮГУ»

Идентификатор документа: 97037



Подписант	
Дюба Елена Александровна	
Газя Геннадий Владимирович	
Янукян Арам Погосович	

Дата подписания	
19.05.2026 15:28:51	
20.05.2026 22:19:13	
21.05.2026 14:59:19	

1 Цель освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов современной теоретической и практической базы специализации в системе подготовки. Основная цель курса состоит в том, чтобы вооружить будущего специалиста знаниями современных принципов управления автоматизированным электроприводом общепромышленных механизмов; знаниями теории и практики проектирования и выбора систем электропривода; знаниями современных тенденций развития автоматизированного электропривода и его совершенствования.

2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к обязательной части блока Б1 учебного плана, модуля «Модуль Электротехника».

3 Формируемые компетенции обучающегося

Планируемые результаты освоения ОПОП (компетенции), достижение которых обеспечивает дисциплина		Планируемые результаты (соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенции)
код компетенции	наименование компетенции	
ОПК-1	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-1.1 З-1: Средства информационных технологий для поиска, хранения, обработки, анализа и представления информации ОПК-1.3 З-1: Основные нормативно-правовые документы в своей области профессиональной деятельности ОПК-1.4 З-1: Передовой отечественный и зарубежный опыт в области электроэнергетики и электротехники при решении профессиональных задач ОПК-1.1 У-1: Использовать нормативные и правовые документы в своей области профессиональной деятельности ОПК-1.4 У-1: Использовать передовой опыт, достижения отечественной и зарубежной науки в решении задач в своей профессиональной деятельности ОПК-1.1 В-1: Навыками анализа научно-технической информации по отечественному и зарубежному опыту в области профессиональной деятельности

		<i>ОПК-1.3 В-1:</i> <i>Навыками сбора информации о существующих технических решениях в своей области профессиональной деятельности</i> <i>ОПК-1.4 В-1:</i> <i>Навыками по организации работ по повышению научно-технических знаний и развитию творческой инициативы, рационализаторской и изобретательской деятельности и внедрению достижений отечественной и зарубежной науки, техники в области профессиональной деятельности</i>
<i>ОПК-3</i>	<i>Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач</i>	<i>ОПК-3.1 З-1:</i> <i>Основные понятия и методы математического анализа, линейной алгебры, аналитической геометрии и дискретной математики</i> <i>ОПК-3.5 З-1:</i> <i>Навыками составления схем замещения цепей основных элементов в профессиональной деятельности</i> <i>ОПК-3.1 У-1:</i> <i>Использовать методы математического анализа, линейной алгебры, аналитической геометрии и дискретной математики при решении типовых задач</i> <i>ОПК-3.1 В-1:</i> <i>Методами построения математических моделей при решении типовых задач</i> <i>ОПК-3.2 В-1:</i> <i>Навыками решения задач электроэнергетики и электротехники</i>
<i>ОПК-4</i>	<i>Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин</i>	<i>ОПК-4.1 З-1:</i> <i>Основы электротехники</i> <i>ОПК-4.4 З-1:</i> <i>Основные элементы силовой электроники и основные физические явления, происходящие в различном оборудовании</i> <i>ОПК-4.5 З-1:</i> <i>Принципы работы трансформаторов и вращающихся электрических машин различных типов</i> <i>ОПК-4.1 У-1:</i>

		<i>Рассчитывать параметры электрических цепей переменного и постоянного тока</i> ОПК-4.4 У-1: <i>Применять методы анализа режимов работы электрооборудования с различными электронными устройствами в конструкции</i> ОПК-4.5 У-1: <i>Моделировать установившиеся режимы работы трансформаторов и вращающихся электрических машин</i> ОПК-4.1 В-1: <i>Методами анализа и моделирования линейных и нелинейных цепей постоянного и переменного тока</i> ОПК-4.4 В-1: <i>Навыками моделирования электронных устройств</i> ОПК-4.5 В-1: <i>Навыками анализа режимов работы и характеристик трансформаторов и вращающихся электрических машин различных типов</i>
--	--	---

4 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Тема	Трудоемкость по видам учебной работы, час					Код компетенции	Оценочные средства
		Занятия лекционного типа	Практические занятия	Лабораторные занятия	Консультации	Самостоятельная работа		
1	Основы автоматизированного электропривода. Механика электропривода. Понятие электропривода. Классификация электропривода.	2	2			12	ОПК-1; ОПК-3; ОПК-4.	Опрос.

	Кинематические и расчетные схемы. Типовые статические нагрузки. Уравнение движения.							
2	Электромеханические свойства двигателей. Электромеханическое преобразование энергии. Электродвигатели постоянного тока. Асинхронные электродвигатели. Синхронные электродвигатели.	2	2			12	ОПК-1; ОПК-3; ОПК-4.	Опрос; Практическое задание.
3	Регулирование координат электропривода. Основные показатели качества и способы регулирования координат ЭП.	2	2			12	ОПК-1; ОПК-3; ОПК-4.	Опрос.
4	Основы выбора электродвигателей. Потери в электроприводе. Режимы работы электропривода.	2	2			12	ОПК-3; ОПК-4.	Опрос; Практическое задание.
5	Взаимосвязанный электропривод	2				12	ОПК-1; ОПК-4.	Опрос.
6	Разомкнутые системы управления электропривода	1	2			12	ОПК-1; ОПК-3; ОПК-4.	Опрос.
7	Замкнутые системы управления электропривода	1	2			12	ОПК-3; ОПК-4.	Опрос.
Итого		12	12			84	—	

5 Образовательные технологии, используемые при различных видах учебной работы

№ темы	Образовательная технология
1-7	Дистанционные технологии

1,3-7	Технология традиционного обучения
2	Информационные технологии

6 Методические материалы по освоению дисциплины

Электронная информационно - образовательная среда представлена личным кабинетом, расположенным по ссылке <https://itport.ugrasu.ru>, электронной библиотечной системой <https://lib.ugrasu.ru>, электронным каталогом Научной библиотеки ЮГУ <https://irbis.ugrasu.ru> и системой дистанционного обучения.

Методические материалы для обучающихся представлены в электронном виде в системе Moodle по ссылке <http://eluniver.ugrasu.ru>.

Методические материалы для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ОВЗ предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

6.1 Методические указания к занятиям лекционного типа

Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать его научно-педагогическому работнику на консультации, на практическом занятии.

6.2 Методические указания к практическим занятиям

Целью практических занятий является закрепление теоретических знаний и приобретение практических умений и навыков. Методические рекомендации по каждой практической работе имеют теоретическую часть, подготовленную отдельно, или указание на источник, необходимый для подготовки к соответствующему практическому занятию, с необходимыми для выполнения работы формулами, пояснениями, таблицами и графиками; алгоритм выполнения заданий. Практические задания сочетаются с теоретическими знаниями. Проведению практического занятия как правило предшествует самостоятельная работа обучающегося.

6.3 Методические указания к самостоятельной работе

В рамках самостоятельной работы обучающийся знакомится с рабочей программой, особое внимание должно уделяться целям и задачам, структуре и содержанию дисциплины. Анализируется конспект лекций, ведется подготовка ответов к контрольным вопросам, просматривается рекомендуемая литература, используются аудио-видеозаписи по заданной теме, решаются расчетно-графические задания, задачи по алгоритму и др.

7 Оценочные материалы для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся.

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание хода освоения дисциплин (модулей). Для осуществления процедуры текущего контроля успеваемости обучающихся НПП создаются оценочные материалы (фонды оценочных средств), позволяющие оценить достижение запланированных результатов обучения и уровень сформированности компетенций.

Промежуточная аттестация обучающихся производится в дискретные временные интервалы НПР, обеспечивающими реализацию дисциплины в форме: дифференцированный зачет.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся предполагает предоставление студентам методических рекомендаций по изучению дисциплины, учитывающих особенности ее построения, освоения, преподавания и представлено как электронный учебно-методический комплект документов по дисциплине, размещено в системе управления обучением «Moodle» (сайт Университета по ссылке <http://eluniver.ugrasu.ru>) и/или в других системах управления обучением электронной информационно-образовательной среды Университета.

Обучение и контроль обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

7.1 Технологическая карта дисциплины 5-й семестр

№ п/п	Название темы	Максимальное количество баллов
Обязательный уровень (текущая аттестация)		
1	Основы автоматизированного электропривода. Механика электропривода. Понятие электропривода. Классификация электропривода. Кинематические и расчетные схемы. Типовые статические нагрузки. Уравнение движения.	10
2	Электромеханические свойства двигателей. Электромеханическое преобразование энергии. Электродвигатели постоянного тока. Асинхронные электродвигатели. Синхронные электродвигатели.	10
3	Регулирование координат электропривода. Основные показатели качества и способы регулирования координат ЭП.	10
4	Основы выбора электродвигателей. Потери в электроприводе. Режимы работы электропривода.	10
5	Взаимосвязанный электропривод	10
6	Разомкнутые системы управления электропривода	10
7	Замкнутые системы управления электропривода	10
		70
Обязательный уровень (промежуточная аттестация)		
8	Дифференцированный зачет	30
		30
	Итого	100
Дополнительный уровень		
9	Расчетно-графическая работа	15
		15

Шкала оценивания результатов по балльной системе (дифференцированный зачет):
Критерии выставления оценки при промежуточной аттестации:

Отлично с 83 по 100 баллов;
Хорошо с 68 по 82 балла;
Удовлетворительно с 50 по 67 баллов;
Неудовлетворительно с 0 по 49 баллов.

7.2 Примерные вопросы для самоконтроля

- Дайте определение автоматизированного электропривода. Какова его роль в технологических процессах?
- Перечислите основные классификационные признаки автоматизированных электроприводов. Приведите примеры применения различных типов в разных отраслях.
- Что такое регулирование координат электропривода? Охарактеризуйте основные методы регулирования (например, для двигателей постоянного тока, асинхронных двигателей).
- Что понимается под коэффициентом полезного действия (КПД) автоматизированного электропривода? Назовите факторы, снижающие КПД.
- Опишите назначение и принцип действия пускозащитной аппаратуры (автоматические выключатели, тепловые реле, магнитные пускатели).
- Какие аварийные режимы могут возникать в электроприводах? Каковы их причины и последствия?
- Какие специальные виды защит применяются в автоматизированных электроприводах (например, защита от обрыва фазы, от асинхронного хода, минимального напряжения)?
- Для чего в схемах управления электроприводами используются блокировки? Приведите примеры блокировок в приводах транспортёров, кормораздатчиков и других механизмов.
- В чём заключается принцип работы устройств защитного отключения (УЗО) и целесообразно ли их применение в цепях питания электроприводов?.
- Как влияет качество электроэнергии (отклонения и несимметрия напряжения) на работу электроприводов?.
- Что такое структурная схема автоматизированного электропривода? Опишите основные элементы системы (электродвигатель, преобразовательное устройство, передаточное устройство, информационно-управляющее устройство).
- Какие типы преобразователей используются в регулируемом электроприводе? Приведите примеры (управляемые выпрямители, преобразователи частоты на силовых полупроводниковых приборах).
- Как осуществляется регулирование скорости асинхронного двигателя? В каких пределах можно изменять частоту питающей сети для регулирования скорости?.
- Что такое метод эквивалентных величин при проверке электродвигателя по нагреву?.
- Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов (ТПМ) непрерывного действия. Например, вопросы выбора электропривода для транспортёров, конвейеров, насосов, вентиляторов.

- Использование микроконтроллеров и цифровых элементов в системах управления электроприводами. Например, для плавного пуска двигателей большой мощности.
- Энергосберегающие технологии в автоматизированном электроприводе. Например, методы рекуперации энергии.
- Особенности работы электропривода в условиях повышенной запылённости и влажности.

7.3 Примерный комплект практических заданий

Содержание

1. Выбор электродвигателя и кинематический расчет привода

1.1. Выбор электродвигателя привода

1.2. Определение частоты вращения вала электродвигателя

1.3. Типы электродвигателей и их параметры

1.4. Основные характеристики асинхронных электродвигателей общего

применения

Пример 1

Пример 2

1. Выбор электродвигателя и кинематический расчет привода

Большинство современных технологических машин проектируют и создают по схеме: энергетическая машина, передаточный механизм, исполнительный орган машины, система управления.

*Устройство, состоящее из двигателя, передаточных механизмов и системы управления для приведения в движение машин и механизмов называется **приводом**.*

Двигатель является одним из основных элементов привода. От типа двигателя, его мощности, частоты вращения зависят конструктивные и эксплуатационные характеристики рабочей машины и ее привода. Выбор электродвигателя предусматривает определение его мощности, типа, частоты вращения вала и основных размеров.

Тип двигателя выбирается с учетом ряда факторов, и в том числе:

- назначения механизма или машины, для которой проектируется данный привод;
- наличия того или иного источника энергии;
- величины потребляемой мощности;
- ограничений по массе, габаритным размерам и условиям работы привода;
- режима работы привода и обеспечения соответствующей механической характеристики.

Назначение машины обуславливает основные требования к приводу, специфику его работы и характеристики. При этом учитываются мобильность, внешняя среда, температурные условия, географические особенности и т.п.

Наличие электроэнергии предопределяет выбор электропривода как наиболее простого и надежного.

Угловые скорости двигателя $\omega_{\text{дв}}$ и исполнительного органа машины $\omega_{\text{ном}}$, как правило, не равны. Электротехническая промышленность для общемашиностроительного применения выпускает электродвигатели с синхронной частотой вращения $n_c = 3000 \text{ мин}^{-1}$, $n_c = 1500 \text{ мин}^{-1}$, $n_c = 1000 \text{ мин}^{-1}$ и $n_c = 750 \text{ мин}^{-1}$. Рабочие органы технологических машин функционируют при очень большом разнообразии угловых скоростей. Для решения этих противоречий применяют приводы. Ключевым звеном привода является передаточный механизм, состоящий из набора механических передач, которые могут быть закрытыми (в корпусе) и открытыми. В качестве закрытых

передаточное наибольшее распространение получили зубчатые (цилиндрические, конические) и червячные передачи. В качестве открытых - передачи с гибкой связью (ременные, цепные) и зубчатые.

Передача, расположенная между двумя соседними валами, называется одной ступенью привода.

Конкретный состав передач в приводе зависит в основном от двух критериев:

- 1) от общего передаточного числа привода $u_{\text{общ}}$;
- 2) от компоновки привода, т.е. от объема заданного пространства, в котором должен размещаться привод.

1. Исходные данные для кинематического расчета привода.

Исходными данными для выполнения кинематического расчета служат:

- структурная схема привода;
- тяговое усилие F_t , Н и скорость движения v , м/с тягового органа или вращающий момент T , Н·м на приводном валу рабочего органа машинного агрегата и угловая скорость ω , рад/с этого вала;
- диаметр барабана D , м;
- вид передачи (реверсивная и неререверсивная);
- срок службы передачи.

2. Задачи кинематического расчета привода.

- 2.1. Подобрать электродвигатель.
- 2.2. Определить общее передаточное число.
- 2.3. Разбить передаточное число привода между ступенями.
- 2.4. Определить мощность, частоту вращения и вращающий момент на каждом валу.

1.1. Выбор электродвигателя привода

В зависимости от потребляемой мощности, а также от ограничений по массе и размерам выбирается тот или иной тип электродвигателя.

Выбранный электродвигатель должен удовлетворять следующим условиям:

- обеспечивать момент, достаточный для разгона механизма с заданным ускорением, а при торможении двигателем - замедление механизма;
- при работе в заданном режиме не должен испытывать длительных перегрузок, ведущих к перегреву электродвигателя.

При выборе двигателя следует придерживаться следующих рекомендаций:

1. Электрические и механические параметры приводов ($P_{\text{ном}}$, $U_{\text{ном}}$, $n_{\text{ном}}$, относительная продолжительность рабочего периода, $T_{\text{пуск}}$, T_{min} , T_{max} , пределы регулирования числа оборотов и т.п.) должны соответствовать параметрам приводимых ими механизмов во всех режимах их работы в данной установке.

2. Для механизмов, сохраняющих технологическую непрерывность в работе, должен быть обеспечен самозапуск их электродвигателей после кратковременных перерывов (не более 2,5 с), связанных с перерывом питания или понижением напряжения из-за короткого замыкания, при этом применять двигатель большей мощности, чем для непрерывной нормальной работы, не требуется.

3. Для привода механизмов, не требующих регулирования числа оборотов, независимо от их мощности, рекомендуется применять синхронные или асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

4. Для привода механизмов, имеющих тяжелые условия пуска или работы, либо требующих изменения числа оборотов, следует применять двигатели с наиболее простыми и экономичными методами пуска или регулирования чисел оборотов, возможными в данной установке.

5. Синхронные двигатели, как правило, должны иметь устройства форсировки возбуждения или компаундирования. Синхронные двигатели в случаях, когда они по своей мощности могут обеспечить регулирование напряжения или режима реактивной мощности в данном узле нагрузки, должны иметь автоматический режим включения.

6. Электродвигатели постоянного тока допускается применять только в тех случаях, когда электродвигатели переменного тока не обеспечивают требуемых характеристик или неэкономичны.

7. Пуск асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором и синхронных двигателей должен производиться, как правило, непосредственным включением в сеть (прямой пуск). При невозможности прямого пуска следует применять пуск через трансформатор или автотрансформатор. В особых случаях допускается пуск с подъемом частоты от нуля.

Мощность электродвигателя всегда относят к определенному режиму работы. При проектировании привода внешние сопротивления и режим работы являются заданными.

Различают три **номинальных режима** работы двигателей:

- продолжительный,
- кратковременный,
- повторно-кратковременный.

При **продолжительном режиме** работы двигатель нагревается до установившейся температуры в отличие от кратковременного, при котором этого не происходит.

При **повторно-кратковременном режиме** происходит пуск и остановка двигателя, при этом нагрев электродвигателя и возможность реализации заданной мощности определяются продолжительностью включения (ПВ) по относительному времени за цикл, равный 10 мин.

По величине ПВ различают четыре основных повторно-кратковременных режима работы.

Режим работы является продолжительным (ПВ 100%), если время одного цикла работы превышает 10 мин.

При расчете мощности двигателя в повторно-кратковременном режиме работы возможны три случая.

1. Фактический режим работы двигателя соответствует одному из стандартных режимов; нагрузка постоянная.

В этом случае по каталогу выбирается двигатель, мощность которого при заданном ПВ равна требуемой.

2. Фактическая продолжительность включения $PВ_{ф}$ не совпадает с номинальными значениями $PВ_{н}$; нагрузка постоянная.

В этом случае двигатель выбирается по номинальной мощности

$$P_{н} = P_{ф} \sqrt{\frac{PВ_{ф}}{PВ_{н}}},$$

где $P_{ф}$ - фактическая мощность,

$PВ_{н}$ - ближайшее стандартное значение ПВ.

3. Значения мощности P переменны в течение цикла.

В этом случае расчет проводится в такой последовательности.

Строится график изменения мощности двигателя во времени за цикл и определяется $PВ_{ф}$.

Определяется средняя статическая мощность за цикл

$$P_1 = \frac{K \cdot \sum P_i t_i}{t_{ц}},$$

где K - коэффициент перегрузок при пуске и торможении; $K=1,1-1,3$;

P_i - различные значения статической мощности за соответствующие промежутки t_i времени в течение цикла продолжительностью $t_{\text{ц}}$.

Полученная мощность пересчитывается по вышеприведенному выражению для определения $P_{\text{н}}$, и по величине $P_{\text{н}}$ выбирается двигатель соответствующей мощности.

Строятся нагрузочные диаграммы механизма с выбранным двигателем по моменту $T=T(t)$ и по силе тока двигателя $I=I(t)$, после чего определяется средняя квадратичная сила тока

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_{\text{ц}}}},$$

где $I_1, I_2, \dots, I_n$ – сила тока двигателя (принимается по его характеристике за промежутки времени $t_1, t_2, \dots, t_n$ в пределах цикла продолжительностью $t_{\text{ц}}$.

Для двигателей постоянного тока с параллельным возбуждением и для асинхронных электродвигателей вместо $I_{\text{Э}}$ можно определять средний квадратический момент

$$T_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{T_1^2 t_1 + T_2^2 t_2 + \dots + T_n^2 t_n}{t_{\text{ц}}}}.$$

Значения $I_{\text{Э}}$ или $T_{\text{Э}}$, сравниваются с номинальными значениями силы тока $I_{\text{н}}$ или момента $T_{\text{н}}$ предварительно выбранного двигателя с учетом отличия $\text{ПВ}_{\text{ф}}$ от $\text{ПВ}_{\text{н}}$:

$$I_{\text{н}} = I_{\text{Э}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{ф}}}{\text{ПВ}_{\text{н}}}};$$

$$T_{\text{н}} = T_{\text{Э}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{ф}}}{\text{ПВ}_{\text{н}}}}.$$

В случае несоблюдения последних неравенств двигатель непригоден по нагреву и его следует заменить ближайшим двигателем большей мощности.

Таблица 1.1. Формулы для определения расчетной мощности приводного двигателя

Расположение передач в механизме		Заданные параметры на рабочем органе	Мощность, кВт
Последовательное:		P_p	$P_{\text{дв}} = \frac{P_p}{\eta_{\text{м}}}$
		T_p, n_p	$P_{\text{дв}} = \frac{1,0472 \cdot 10^{-4} \cdot T_p n_p}{\eta_{\text{м}}}$
		P_p, V_p	$P_{\text{дв}} = P_p V_p \cdot 10^{-4}$
Параллельное:	от одного двигателя приводит в движение несколько рабочих органов	$P_{p1}, P_{p2}, \dots, P_{pn}$	$P_{\text{дв}} = \frac{P_{p1} + P_{p2} + \dots + P_{pn}}{\eta_{\text{м}}}$
		$T_{p1}, T_{p2}, \dots, T_{pn}; n_{p1}, n_{p2}, \dots, n_{pn}$	$P_{\text{дв}} = \frac{1,0472 \cdot 10^{-4} \cdot (T_{p1} n_{p1} + T_{p2} n_{p2} + \dots + T_{pn} n_{pn})}{\eta_{\text{м}}}$
		$F_{p1}, F_{p2}, \dots, F_{pn}; V_{p1}, V_{p2}, \dots, V_{pn}$	$P_{\text{дв}} = \frac{1,0472 \cdot 10^{-4} \cdot (F_{p1} V_{p1} + F_{p2} V_{p2} + \dots + F_{pn} V_{pn})}{\eta_{\text{м}}}$
	от нескольких двигателей	P_p	$P_{\text{дв1}} + P_{\text{дв2}} + \dots + P_{\text{двн}} = \frac{P_p}{\eta_{\text{м}}}$
		T_p, n_p	$P_{\text{дв1}} + P_{\text{дв2}} + \dots + P_{\text{двн}} = \frac{1,0472 \cdot 10^{-4} \cdot T_p n_p}{\eta_{\text{м}}}$

	приводитс я в движение один рабочий орган	P_p, V_p	$P_{дв1} + P_{дв2} + \dots + P_{двn} = P_p V_p \cdot 10^{-4}$
Обозначения			
η_m	коэффициент полезного действия (КПД) привода $\eta_m = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_k$		
$\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_k$	КПД отдельных последовательно соединенных передач привода (табл.1.2);		
$P_{p1}, P_{p2}, \dots, P_{pn}$	мощность на рабочих органах, кВт;		
$T_{p1}, T_{p2}, \dots, T_{pn}$	моменты на рабочих органах, Нм;		
$P_{дв1}, P_{дв2}, \dots, P_{двn}$	расчетные мощности двигателей, кВт;		
$n_{p1}, n_{p2}, \dots, n_{pn}$	частота вращения рабочих органов, об/мин;		
$V_{p1}, V_{p2}, \dots, V_{pn}$	линейные скорости рабочих органов, м/с;		
$F_{p1}, F_{p2}, \dots, F_{pn}$	силовая нагрузка на рабочие органы, Н		

Значения КПД различных передач приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Средние значения КПД механических передач (без учета потерь)

Тип передачи	Закрытая	Открытая
Зубчатая:		
цилиндрическая	0,96 ... 0,97	0,93 ... 0,95
коническая	0,95 ... 0,97	0,92 ... 0,94
Цепная	0,95 ... 0,97	0,90 ... 0,93
Ременная:		
плоским ремнем	-	0,96 ... 0,98
клиновыми (поликлиновыми) ремнями	-	0,95 ... 0,97
червячная при числе заходов червяка: Z1= 1 Z1= 2 Z1= 4	0,70...0,75 0,80...0,85 0,80...0,95	
муфта соединительная	0,98	
подшипники качения	0,99	

Примечания: 1. Ориентировочные значения КПД закрытых передач в масляной ванне приведены для колес, выполненных по 8-й степени точности, а для открытых – по 9-й; при более точном выполнении колес КПД может быть повышен на 1 ... 1,5%; при меньшей точности – соответственно понижен. 2. Для червячной передачи предварительное значение КПД принимают $\eta_{чп}=0,75 \dots 0,85$. После установления основных параметров передачи значение КПД следует уточнить. 3. Потери в подшипниках на трение оцениваются следующими коэффициентами: для одной пары подшипников качения $\eta_{пк}=0,99 \dots 0,995$; для одной пары подшипников скольжения $\eta_{пс}= 0,98 \dots 0,99$. 4. Потери в муфте принимают $\eta_{муф} = 0,98$. 5. В приводах с параллельными передачами, например, с раздвоенными колёсами, значения КПД из таблицы 1.2 учитывают только один раз.

В задании на курсовое проектирование момент на выходном валу задан в виде графика нагрузки, который учитывает фактические условия работы привода.

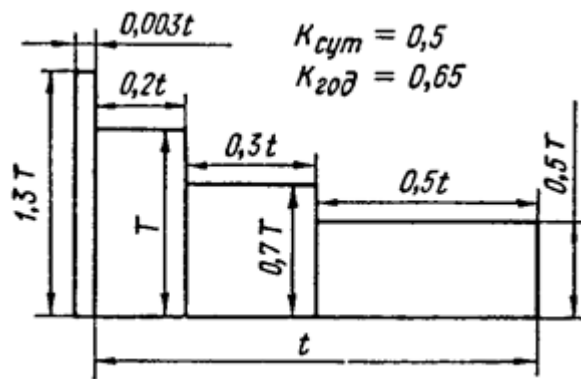


Рис.1.1

Рассмотрим в качестве примера, приведенный на рис.1.1 график нагрузки привода.

Его следует понимать так:

- в течение суток привод работает 50% времени, т.е. продолжительность его включения ПВ = 50%.

- в течение года привод работает 65% времени и значит общее время работы привода за один год составит 365 дней · 24 часа · 0,65 · 0,5 = 2847 часов.

За это время в пусковом режиме двигатель работает 0,003% на моменте, который составляет 1,3 от номинала, т.е. требуется мощность, превышающая расчётную в 1,3 раза. На расчётном моменте (на номинальной мощности двигателя) привод работает 20% времени; на моменте 0,7 от номинала 30% времени и на моменте 0,5 от номинала 50% времени. Анализ графика показывает, если выбрать двигатель по номинальной мощности, то он явно будет недогружен более чем на 50% времени работы, но одновременно он будет и перегружен во время пусков в работу. Это учтено в конструкции серийно выпускаемых асинхронных электродвигателей и в каталоге дается соотношение пускового момента к номинальному, которое в нашем случае должно быть не менее 1,3. Что касается номинальной мощности, то её на первом этапе следует подсчитать по формуле через эквивалентный момент с учётом графика нагрузки.

$$T_{\text{ЭКВ}} = \sqrt[3]{T_1^3 t_1 + T_2^3 t_2 + T_3^3 t_3 + \dots + T_n^3 t_n}.$$

Для нашего конкретного случая

$$T_{\text{ЭКВ}} = \sqrt[3]{(1,3)^3 \cdot 0,003 + (1)^3 \cdot 0,5 + (0,7)^3 \cdot 0,3 + (0,5)^3 \cdot 0,5} = 0,875T.$$

и требуемая эквивалентная мощность

$$N_{\text{ЭКВ}} = \frac{T_2 \cdot \omega \cdot 0,875}{\eta}.$$

Номинальная требуемая мощность

$$N = \frac{T_2 \cdot \omega}{\eta}.$$

Подсчитав то и другое значение можно приступить к выбору мощности электродвигателя.

Пусть, например, нам требуется выбрать мощность двигателя ленточного транспортёра со следующими параметрами: скорость транспортёра - 0,5м/с, усилие на ленте транспортёра - 4000Н, общее КПД привода - 0,81, график нагрузки приведен выше.

Номинальная мощность $N = 4000 \cdot 0,5 / 0,81 = 2470 \text{ Вт} = 2,47 \text{ кВт}$.

Эквивалентная мощность $N_{\text{ЭКВ}} = N \cdot 0,875 = 2,47 \cdot 0,875 = 2,16 \text{ кВт}$.

По каталогу выпускаемых электродвигателей исходя из номинальной мощности необходимо выбрать двигатель мощностью 3 квт. Исходя из эквивалентной мощности можно выбрать двигатель мощностью 2,2 квт.

Пусть нам требуется электродвигатель с частотой вращения 1500 мин^{-1} (самая оптимальная частота вращения с точки зрения экономичности и рекомендуемая в курсовом проектировании). Для данных двигателей по каталогу отношение пускового момента к номинальному $T_{\text{п}} / T_{\text{н}} = 2$.

Требуемая пусковая мощность по графику нагрузки $N_{\text{п}} = 1,3 \cdot 2,47 = 3,21 \text{ кВт}$.

Серийный электродвигатель мощностью $2,2 \text{ кВт}$ обеспечит на пуске мощность $2,2 \cdot 2 = 4 \text{ кВт}$. Таким образом, мы имеем право выбрать двигатель мощностью $2,2 \text{ кВт}$, но он будет перегружен на $(2,47/2,2) - 11,2\%$ по номинальной мощности. Продолжительность включения нашего двигателя по заданию ПВ = 50% и значит допустима перегрузка по номинальной мощности в пределах, указанных в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Продолжительность включения электродвигателя, ПВ %	Допустимая перегрузка по номинальной мощности для асинхронных двигателей серии АИР
100%	0%
80%	5%
60%	10%
40%	20%

С учётом таблицы 1.3 мы окончательно имеем право выбрать электродвигатель мощностью $2,2 \text{ кВт}$, хотя по расчёту требуется мощность $2,47 \text{ кВт}$.

И далее в расчётах зубчатых или червячных передач в качестве расчётного можно принимать не номинальный вращающий момент, а эквивалентный.

1.2. Определение частоты вращения вала электродвигателя

Требуемая частота вращения вала электродвигателя определяется по формуле

$$n_{\text{эд}} = n_2 \cdot i,$$

где i – передаточное отношение привода.

В дальнейших расчетах вместо передаточного отношения $i = n_{\text{эд}} / n_2$ применяют общее передаточное число привода $u_{\text{общ}}$

Общее передаточное число привода

$$u_{\text{общ}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{в}}} = u_1 \cdot u_2 \cdot \dots,$$

где $n_{\text{дв}}$ – асинхронная частота вращения двигателя, мин^{-1} ;

$n_{\text{в}}$ – частота вращения приводного вала рабочего органа, мин^{-1} ;

u_1, u_2 – передаточные числа элементов привода.

Частота вращения приводного вала составляет, например,

для ленточного транспортера:

$$n_{\text{в}} = \frac{60v}{\pi D},$$

для цепной передачи (звездочки):

$$n_{\text{в}} = \frac{60v \cdot 10^3}{z \cdot p},$$

где D – диаметр барабана или звездочки, м;

z – число зубьев звездочки;

p – шаг тяговой цепи, мм.

Применение u вместо i связано только с принятой формой расчетных зависимостей для контактных напряжений, значения которых не зависят от того, какое из зубчатых колес является ведущим.

Руководствуясь рекомендациями по выбору значений передаточных чисел в соответствии с заданным типом передачи в редукторе (см. табл. 1.4), определяют возможный диапазон частот вращения вала электродвигателя

$$n_{\text{эд}} = n_2 \cdot (u_{\min} \dots u_{\max}).$$

По рассчитанной мощности P и диапазону $n_{\text{эд}}$ из табл. 1.6 выбирают электродвигатель таким образом, чтобы его номинальная мощность $P_{\text{ном}} \geq P$, а номинальная частота $n_{\text{ном}}$ вращения вала была самой близкой (из возможных вариантов) к большему значению диапазона $n_{\text{эд}}$. В этом случае размеры и стоимость электродвигателя будут наименьшими. При этом следует иметь в виду, что большая частота вращения вала электродвигателя при одинаковой мощности вызывает увеличение передаточного числа редуктора, а, следовательно, увеличение его длины и высоты. Меньшая частота вращения вызывает увеличение размеров электродвигателя и увеличение ширины зубчатых колес, а следовательно, уменьшение размеров редуктора.

Если скоростной диапазон достаточно большой, т.е. по скоростной характеристике можно выбрать несколько двигателей, окончательное решение принимается с учетом следующих соображений. Быстроходные двигатели легче и дешевле тихоходных, поэтому предпочтительнее. Однако выбор быстроходного двигателя приводит к увеличению общего передаточного отношения редуктора и, как правило, к увеличению его габаритов, массы и стоимости. Если позволяет скоростной диапазон, рекомендуется выбирать два двигателя с различной скоростной характеристикой и последующий расчет вести параллельно. В конце расчета производится анализ вариантов по кинематическим, технико-экономическим и другим признакам и выбирается окончательный вариант.

Одновременно необходимо учитывать рекомендуемые значения передаточных чисел различных типов передач (табл. 1.4). Значения передаточных чисел редуктора не должны выходить за пределы допускаемых отклонений, предусмотренных ГОСТ 12289-76.

По выбранному электродвигателю определяют расчетное передаточное число зубчатой передачи редуктора

$$u = \frac{n_{\text{ном}}}{n_2}.$$

Таблица 1.4. Ориентировочные значения основных параметров одноступенчатых механических передач

Передачи	Передаточное отношение $u_{\max}$	КПД, η	Передаваемая мощность P , кВт	Относительные габаритные размеры	Относительная масса	Относительная стоимость	
Зубчатые:							
цилиндрические	До 6,3	0,97....	Не ограничена	1	1	1	
конические	До 6,3	0,95–0,97	4000	2	1,2–1	1,7...	2,2
планетарные A_{1h}^3	3–9	0,95–0,97	5000	0,7–1	0,93–0,73	1,5 ...	1,25
планетарные B_{1h}^3	7–16	0,94–0,96	5000	0,8–1,1	0,95–0,8	1,6 ...	...1,3
волновые u_{h1}^2	80–315	0,7–0,9	150	0,5–0,6	0,05–0,15	1,7 ...	...1,5
Червячная при числе заходов червяка:							
$Z_1 = 4$	8–14	0,8–0,9					
$Z_1 = 2$	14–30	0,75–0,85 0,	60	1–1,6	1,04	1,55	...1,4

		85					
Z ₁ =1	30–80	0,7–0,8					
Цепные	До 10	0,92–0,95	120	1–1,6	0,25	0,35	...0,2
Ременные (трением)	До 8	0,94–0,96 0,96	50	5–4	0,4–0,5	0,3	...0,2
Зубчато-ременные	До 12	0,96–0,98	100	2,5–3	0,3	0,8	...0,2
Фрикционные	До 7	0,85–0,95	20	1,5–2	1,5	0	8
Муфта соединительная		0,98					
Подшипники качения (одна пара)		0,99					
<i>Примечания:</i> 1. Относительные габаритные размеры, масса и стоимость определяются по отношению к одноступенчатой зубчатой передаче. 2. Передаточные отношения и редукторов надо выбирать из единого ряда (допускаемое отклонение от номинального значения и $\pm 4\%$): 1, 1,12; 1,25, 1,4; 1,6, 1,8; 2; 2,24; 2,5, 2,8; 3,15, 3,55; 4, 4,5; 5; 5,6, 6,3; 7,1; 8; 9; 10; 11,2; 12,5; 14; 16; 18, 20; 22,4; 25; 28; 31,5; 35,5; 40; 45; 50; 56, 63; 71, 80; 90; 100, 112, 125; 140, 160; 180; 200; 224; 250; 280; 315, 355;							

При окружных скоростях более 6 м/с целесообразно применять колеса косозубые и шевронные.

Номинальные значения передаточных чисел в зубчатых редукторах общего назначения, выполненных в виде самостоятельных агрегатов по:

1-й ряд: 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8; 10; 12,5;

2-й ряд: 1,12; 1,4; 1,8; 2,24; 2,8; 3,55; 4,5; 5,6; 7,1; 9,0; 11,2.

Примечание. 1-й ряд следует предпочесть второму ряду.

Угловая скорость вала электродвигателя

$$\omega_{дв} = \frac{\pi n_{дв}}{30},$$

Далее можно определить угловые скорости других валов привода

$$\omega_2 = \frac{\omega_{дв}}{u_1},$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{u_2}.$$

Крутящие моменты на валах определяются с учетом потерь на трение

$$T_1 = \frac{P_{тр} \cdot 10^3}{\omega_{дв}}.$$

Крутящий момент ведомого вала

$$T_2 = T_1 \cdot u_1 \cdot \eta_1.$$

1.3. Типы электродвигателей и их параметры

К основным типам современных электродвигателей переменного тока относятся следующие.

Электродвигателя единой серии

Электродвигатели трехфазного тока единой серии 4А мощностью 0,06-400 кВт с высотой оси вращения (50-355) мм предназначены для привода механизмов, не предъявляющих особых требований к пусковым характеристикам, скольжению и другим качествам при температуре окружающего воздуха от -40 °С до +40 °С.

По степени защиты они изготавливаются:

- закрытыми обдуваемыми (IP44),
- защищенными (IP23).

Электродвигатели со степенью защиты IP44 выпускаются в трех исполнениях:

- на лапах M100 (*основное исполнение*),
- с лапами и фланцевым щитом M200,
- с фланцевым щитом M300.

Двигатели со степенью защиты IP23 выпускаются только в основном исполнении.

Многоскоростные электродвигатели имеют *синхронные* частоты вращения: 1500/3000, 750/1500, 750/1000, 500/1000, 1000/1500/3000, 750/1500/3000, 750/1000/1500, 500/750/1000/1500 об/мин.

Выпускают электродвигатели для работы от сети частотой 50 и 60 Гц.

В числе модификаций производятся:

- малошумные двигатели для работы в приводах с повышенными требованиями к уровню шума для машин третьего класса;
- встраиваемые электродвигатели, электродвигатели со встроенной температурной защитой для привода механизмов;
- электродвигатели тропического, влаго-, морозостойкого и химически стойкого исполнений.

Пример условного обозначения электродвигателя: **4АНХ315МВ4У3**,

где 4 - номер серии;

А - асинхронный;

Н - защищенный (способ защиты от окружающей среды), при отсутствии этой буквы - закрытый обдуваемый;

Х - сочетание чугуна и алюминия в качестве материалов станины и щитов (А - станина и щиты алюминиевые), при отсутствии букв Х и А - станины и щиты - чугунные или стальные;

315 - высота оси вала, мм;

М - установочный размер по длине станины (либо S и L);

В - длина сердечника статора (или А) при условии сохранения установочного размера, отсутствие букв А и В означает наличие только одной длины сердечника;

4 - число полюсов;

У3 - климатическое исполнение и категория размещения.

Электродвигатели крановые и металлургические

Асинхронные электродвигатели трехфазного тока крановые и металлургические с короткозамкнутым ротором серии МТКФ и МТКН и с фазным ротором серий МТФ и МТН (в обозначении: М - металлургические и крановые, Т - трехфазного тока, F и Н - классы нагревостойкости) предназначены для привода крановых механизмов общепромышленного назначения, а также других механизмов с кратковременным и повторно-кратковременными режимами работы с большими кратностями перегрузок.

Для приводов, работающих в условиях повышенных температур окружающей среды (металлургическое производство и т.п.), рекомендуются электродвигатели серий МТН и МТКН.

Крановые и металлургические электродвигатели обладают повышенной нагрузочной способностью, большими пусковыми моментами, малым временем разгона. Отношение пускового (максимального) крутящего момента к номинальному колеблется в пределах 2,3-3,2. Диапазон рабочей температуры окружающего воздуха для крановых электродвигателей от -45 °С до +40 °С, металлургических от -45 °С до +50 °С.

Электродвигатели имеют *синхронные* частоты вращения n :
1000, 750 и 600 об/мин - при работе от сети с частотой 50 Гц;
1200, 900 и 720 об/мин - при работе от сети с частотой 60 Гц.

Пример условного обозначения электродвигателя: **МТКН311-8Т2**,

где первая цифра трехзначного числа после буквенного обозначения - условная величина внешнего диаметра пакета статора;

вторая цифра трехзначного числа после буквенного обозначения - порядковый номер серии;

третья цифра трехзначного числа после буквенного обозначения - условная длина пакета статора;

цифра, стоящая после тире - число полюсов электродвигателя.

Для работы в условиях тропиков вводится обозначение Т2, в условиях холодного климата - ХЛ2.

Электродвигатели всех габаритов изготавливают в закрытом обдуваемом исполнении, а с фазовым ротором 5-7 габаритов, кроме того, - в защищенном исполнении с независимой вентиляцией.

1.4. Основные характеристики асинхронных электродвигателей общего применения

В машиностроении применяют асинхронные электродвигатели трехфазного тока с короткозамкнутым ротором, которые непосредственно включаются в сеть. Их преимущества: простота конструкции, сравнительно низкая стоимость, простота обслуживания и надежность. Недостатки: меньшие КПД и $\cos\varphi$ относительно синхронных электродвигателей; ограниченная возможность регулирования по сравнению с электродвигателями постоянного тока и асинхронными электродвигателями с фазовым ротором, имеющих контакты для включения реостата в цепь ротора.

К основным типам асинхронных электродвигателей трёхфазного тока, предназначенных для приводов общего применения, относят двигатели единой серии марок:

4АН – электродвигатели, защищенные от попадания капель и твёрдых частиц и от прикосновения к вращающимся и токоведущим частям;

4А – электродвигатели закрытые обдуваемые по ГОСТ 19523-74 (рис. 1.3). Формы исполнения: М100 – электродвигатели горизонтальные, станина на лапах (см. рис.1.3, а); М200 – то же и дополнительно с фланцем на щите (см. рис 1.3, б);

АО2 – электродвигатели закрытые обдуваемые по ГОСТ 13859-68 и их модификации.

Технические данные электродвигателей содержатся в каталогах, в табл. 1.6, 1.7 приведены краткие выдержки из них.

Кроме того, форма исполнения и способ установки электродвигателя единой серии (общего назначения) обозначаются следующим образом:

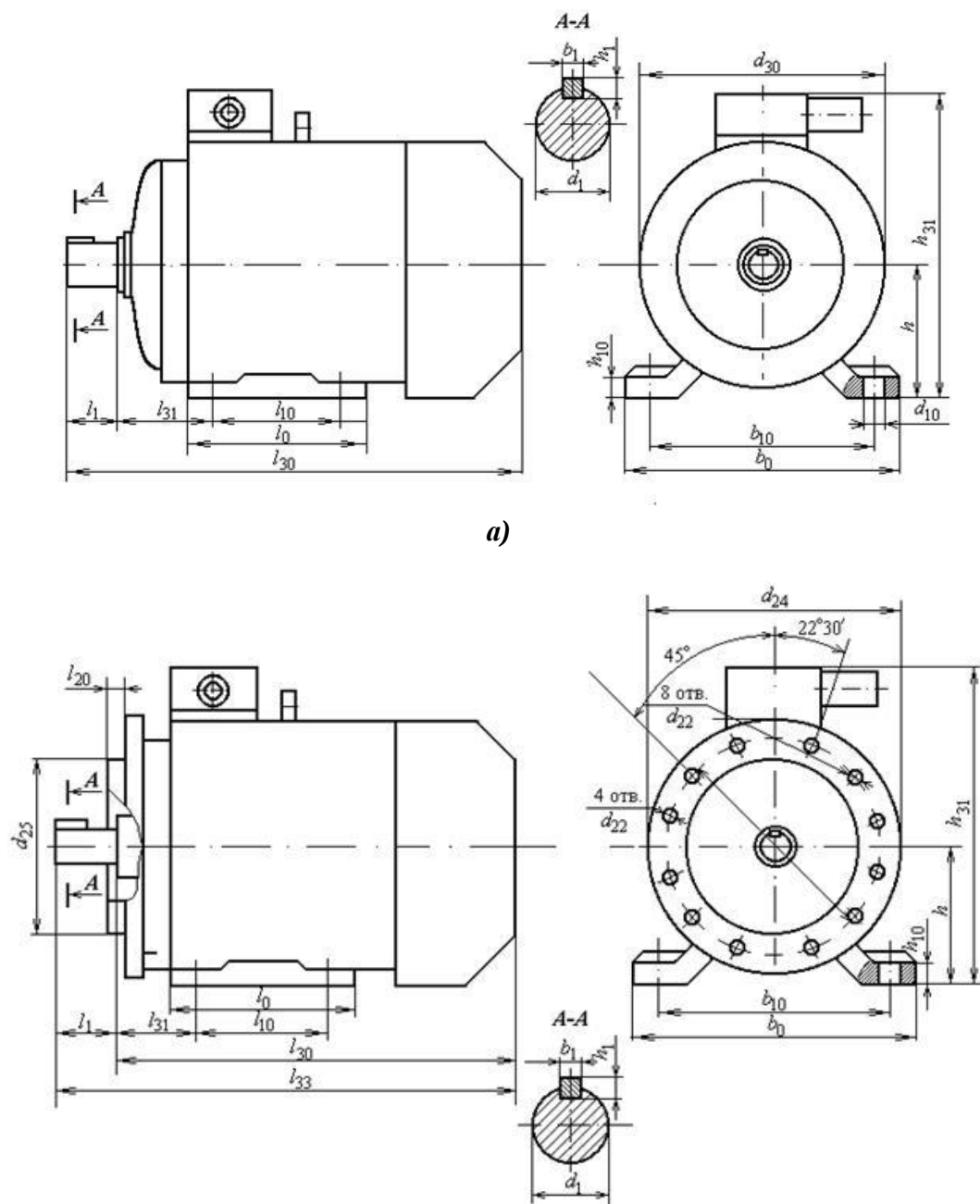
IM1081 – электродвигатели со станиной на лапах;

IM2081 – горизонтальные на лапах и с фланцем на щите;

IM3081 – со станиной без лап и с фланцем на щите.

Пример условного обозначения трехфазного асинхронного короткозамкнутого закрытого обдуваемого двигателя единой серии горизонтального с чугуновой станиной на лапах, с высотой оси вращения 90 мм, с установочным размером по длине станины L, четырех полюсного, климатического исполнения Y, категории размещения 3 по ГОСТ 15150-69.

Двигатель исполнения IM10814AF90L4Y3 ГОСТ 19523-81.



б)
Рис. 1.3

Синхронная частота вращения соответствует холостому ходу. Под нагрузкой частота вращения электродвигателя уменьшается.

Номинальному (паспортному) режиму эксплуатации электродвигателя соответствует номинальная частота $n_{\text{ном}}$ и номинальная мощность $P_{\text{ном}}$. В этом режиме электродвигатель работает длительное время без перегрева и КПД близок к максимальному. Момент, соответствующий $P_{\text{ном}}$, является номинальным – $T_{\text{ном}}$.

В каталоге указывается также отношение $T_{\text{мах}}/T_{\text{ном}}$, $T_{\text{пуск}}/T_{\text{ном}}$. При пуске ($n = 0$) двигатель развивает момент $T_{\text{пуск}}$. В процессе разгона электродвигателя вращающий момент первоначально возрастает до $T_{\text{мах}}$ (при $n_{\text{кр}}$), а затем снижается до момента $T_{\text{ном}}$ (при $n_{\text{ном}}$). Участок характеристики от $T = 0$ (холостой ход) до $T_{\text{мах}}$ близок к прямолинейному, т.е. момент в указанных пределах пропорционален скольжению, однако благодаря «жесткости» механической характеристики

значительное изменение нагрузки вызывает несущественное изменение частоты вращения.

В каталоге указывается номинальная частота вращения $n_{\text{ном}}$, мин^{-1} , принимаемая за расчетную, например, при определении общего передаточного отношения механизма. Если электродвигатель работает при установившемся режиме ($n_{\text{ном}}$ и $T_{\text{ном}}$), а затем подвергается перегрузке, его частота вращения падает. При этом должно быть обеспечено даже для кратковременного момента перегрузки $T_{\text{пуск}} \leq T_{\text{мах}}$. Поэтому частота вращения, соответствующая $T_{\text{мах}}$, является критической $n_{\text{кр}}$. Следовательно, при выборе электродвигателя необходимо согласовать его характеристику с режимом нагрузки механизма. Например, для конвейеров указывается характер нагрузки и отношение $(T_{\text{пуск}}/T_{\text{ном}}) \leq (T_{\text{мах}}/T_{\text{ном}})$.

Если это условие не соблюдается для данного типа электродвигателя, необходимо выбрать другой тип или предусмотреть в системе привода устройство, позволяющее разгонять электродвигатель вхолостую, а затем плавно включать нагрузку, например, с помощью фрикционной управляемой муфты.

Длительный режим работы характеризуется его продолжительностью, достаточной для того, чтобы температура нагрева двигателя достигала установившегося значения.

При выборе электродвигателя учитывают ряд требований, обусловленных условиями и режимом работы привода: частотой вращения выходного вала, состоянием окружающей среды; типом передаточного механизма и т.д. Критериями оценки оптимальности выбора электродвигателей служат надежность и экономичность электромеханической системы, КПД, габариты и масса двигателя, его динамические характеристики.

В рамках учебного курсового проектирования эта задача решается ограниченно и заключается в подборе типоразмера по каталогу с учетом его механической характеристики.

Для определения мощности электродвигателя $P_{\text{эд}}$ и частоты вращения его ротора $n_{\text{эд}}$ в техническом задании должны быть указаны мощность на выходе $P_{\text{вых}}$ и частота вращения выходного (тихоходного) вала привода $n_{\text{вых}}$. В зависимости от сложности учебной задачи указывают синхронную частоту вращения вала электродвигателя $n_{\text{эдс}}$ или проектировщик (студент), исходя из кинематических возможностей привода, сам выбирает требуемую реальную частоту вращения ротора электродвигателя $n_{\text{эдр}}$.

Основные параметры асинхронных короткозамкнутых электродвигателей трехфазной серии А4 приведены в табл.1.6.

При выборе электродвигателя следует учитывать следующие положения.

Чем ниже частота вращения вала электродвигателя, тем больше его размеры, масса и стоимость. Высокооборотные двигатели, напротив, имеют меньшие размеры, массу, стоимость, чем тихоходные той же мощности. Поэтому применение тихоходного двигателя с $n_c = 750 \text{ мин}^{-1}$ возможно при достаточном обосновании.

Следует также учитывать, что допустимая перегрузка не должна превышать 8% при постоянной и 12% при переменной нагрузке; допустимая недогрузка - 20%.

На рис. 1.2 представлена характеристика асинхронного электродвигателя, выражающая зависимость частоты вращения двигателя от величин вращающего момента.

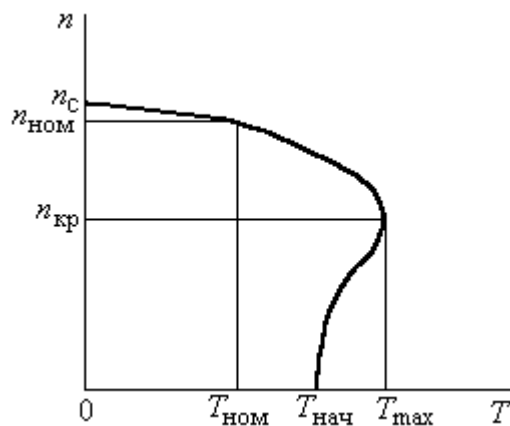


Рис. 1.2

Здесь $T_{\text{ном}}$ – номинальный вращающий момент;
 $T_{\text{нач}}$ (или $T_{\text{пуск}}$) – момент, развиваемый при пуске двигателя;
 T_{max} – максимальный момент (кратковременный);
 $n_{\text{ном}}$ – номинальная частота вращения двигателя;
 $n_{\text{кр}}$ – критическая частота вращения двигателя;
 n_c – синхронная частота вращения двигателя (при отсутствии нагрузки), то есть частота вращения магнитного поля, она зависит от частоты тока f и числа пар полюсов p : $n_c = \frac{60f}{p}$.

Асинхронная угловая скорость, рад/сек: $\omega_c = \frac{2\pi f}{p}$.

При стандартной частоте $f = 50$ 1/с и числе пар полюсов p от 1 до 4 синхронная частота вращения двигателя $n_c = 3000, 1500, 1000, 750$ об/мин.

Частота вращения $n_{\text{ном}}$, указываемая в каталогах электродвигателей, относится к номинальному режиму, её и принимают во внимание при определении общего передаточного отношения привода.

Под действием нагрузки частота вращения вала электродвигателя $n_{\text{эд}}$ уменьшается по сравнению с n_c , возникает скольжение s , определяемое по формуле $s = (n_c - n_{\text{эд}}) / n_c$. Следовательно, $n_{\text{эд}} = n_c \cdot (1 - s)$.

Большинство технологических машин, следовательно, и их приводы работают в условиях переменных режимов нагружения, которые определяются *циклограммой*, т.е. графиком изменения вращающего момента во времени.

Исследованием установлено, что при всем многообразии циклограмм моментов их можно приблизительно свести к *шести стандартным типовым режимам нагружения*.

0 — постоянный режим нагружения, характерен для машин, которые работают с отклонениями от номинального режима до 20%. Он является наиболее тяжелым.

1-й — тяжёлый режим нагружения, характерен для машин, которые работают большую часть времени с нагрузками, близкими к номинальным, например, для горных машин.

11 — средний равновероятный режим нагружения, характерен для машин, которые работают одинаковое время со всеми значениями нагрузки, например, для транспортных машин.

111 — средний нормальный режим нагружения, характерен для машин, которые работают большую часть времени со средними нагрузками, например, для достаточно интенсивно эксплуатируемых машин.

1V — лёгкий режим нагружения, характерен для машин, которые работают большую часть времени с нагрузками ниже средних, например, для широко универсальных станков.

V — особо лёгкий режим нагружения, характерен для машин, которые большую часть времени работают с малыми нагрузками, например, для металлорежущих станков.

Сведения о режимах наружения используют при проектировании зубчатых передач на выносливость согласно табл. 1.5.

Таблица 1.5. Коэффициенты для вычисления эквивалентного числа циклов

Номер режима	K_{HE}	K_{FE}^*
0	1	1
1	0,500	0,300/0,200
2	0,250	0,143/0,100
3	0,180	0,065/0,036
4	0,125	0,038/0,016
5	0,063	0,013/0,004

*Числитель для зубчатых колес с однородной структурой, включая ТВЧ со сквозной закалкой, и для шлифованной переходной поверхности независимо от твёрдости. Знаменатель для зубчатых колёс азотированных, цементированных и нитроцементированных с нешлифованной переходной поверхностью.

Таблица 1.6. Двигатели асинхронные короткозамкнутые трёхфазные серии 4А общепромышленного применения;
закрытые обдуваемые. Технические данные

Номиналь ная мощность P_n , кВт	Синхронная частота вращения, мин ⁻¹							
	3000		1500		1000		750	
	Тип двигател я, 4А	n_s (d) _э	Тип двигател я, 4А	n_s (d) _э	Тип двигателя , 4А	n_s (d) _э	Тип двигателя , 4А	n_s (d) _э
0,25	AM56B2	2760(	AM63A4	1370(	AM63B6	890(1	M71B8Y3	680(1
0,37	Y3	11)	Y3	14)	Y3	4)	M80A8Y3	9)
0,55	AM63A2	2740(	AM63B4	1365(	M71A6Y3	910(1	M80B8Y3	675(2
0,75	Y3	14)	Y3	14)	M71B6Y3	9)	M90LA8	2)
1,1	AM63B2	2710(	M471A4	1390(	M80A6Y3	900(1	Y3	700(2
1,5	Y3	14)	Y3	19)	M80B6Y3	9)	M90LB8Y	2)
2,2	M71A2Y	2840(	M71B4Y	1390(	M90L6Y3	915(2	3	700(2
3,0	3	19)	3	19)	M100L6Y	2)	M100L8Y	4)
4,0	M71B2Y	2810(	M80A4Y	1420(	3	920(2	3	700(2
5,5	3	19)	3	19)	M112MA	2)	M112MA	4)
7,5	M80A2Y	2850(	M80B4Y	1415(	6Y3	935(2	8Y3	700(2
11,0	3	22)	3	22)	M112MB	4)	M112MB	8)
15,0	M80B2Y	2850(	M90L4Y	1425(	6Y3	950(2	8Y3	700(3
	3	22)	3	22)	M132S6Y	8)	M132S8Y	2)
	M90L2Y	2840(	M100S4	1435(	3	955(3	3	700(3
	3	24)	Y3	24)	M132M6	2)	M132M8	2)
	M100S2	2880(	M100L4	1430(	Y3	950(3	Y3	720(3
	Y3	28)	Y3	28)	M160S6Y	2)	M160S8Y	6)
	M100L2	2880(	M112M4	1445(	3	965(3	3	720(3
	Y3	28)	Y3	28)	M160M6	6)	M160M8	6)
	M112M2	2900(	M132S4	1455(	Y3	970(3	Y3	730(4
	Y3	32)	Y3	32)		6)	M180M8	2)

M132M2 У3	2930(36)	M1M2M 4У3	1450(36)		970(42)	У3	730(42)
M160S2 У3	2930(42)	M160S4 У3	1460(42)		970(42)		730(42)

Примечание: Структура обозначения типоразмера двигателя (расшифровывается слева направо):

4 – порядковый номер серии;

А – вид двигателя – асинхронный;

А – станина и щиты двигателя алюминиевые (отсутствие знака означает, что станина и щиты чугунные или стальные);

М – модернизированный; двух- или трёхзначное число – высота оси вращения ротора;

А, В – длина сердечника статора;

К, L, M, S – установочный размер по длине станины;

2, 4, 6, 8 – число полюсов;

У3 – климатическое исполнение и категория размещения (для работы в зонах с умеренным климатом) по ГОСТ 15150-69.

Таблица 1.7. Двигатели. Основные размеры, мм

Тип двигателя	Число полюсов	Исполнение																					
		IM1081	IM1081, IM2081, IM3081						IM1081, IM2081						IM2081, IM3081								
		d_{30}	l_1	l_{30}	d_1	b_1	h_1	l_{30}	l_{31}	d_{10}	b_{10}	h	h_{10}	h_{31}	l_{20}	l_{21}	d_{20}	d_{22}	d_{24}	d_{25}			
71А, В	2, 4, 6, 8	170	40	285	19	6	6	90	45	7	112	71	9	201	3,5	10	165	12	200	130			
80А		186	300	22	100			50	10	125	80	10	218	4				14	215		15	250	180
80В																							
90L		208	350	24	8	7	112	63	160	100	12	263	18	265	300	230							
100S		235	60	362			28										112	63	160	100	12	263	4
100L				392	112	63		160	100	12	263	4	14	215	15	250							
112M		260	452	32			10										8	140	70	12	190	112	310
132S		302	80	480	38	8		89	216	132	13	350	18	300	230								
132M				530			110									667	48	14	9	203	121	279	180
160S	2	358	624	42	12	8		210	15	254	160	18	430	5	15								
	4, 6, 8						48									14	9	203	121	279	180	20	470
160M	2	358	624	42	12	8	210	15	254	160	18	430	5	15	19	400	300						
	4, 6, 8																	48	14	9	203	121	279
180S	2	410	662	48	14	9	203	121	279	180	20	470	18	350	400	300							
	4, 6, 8																55	16	10	203	121	279	180

180М	2				48	149													
	4, 6, 8			702	55	16	10	241											

Таблица 1.8. Мощности и скорости вращения двигателей А2, АО2, и АОЛ2

Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Тип электродвигателя	Номинальная мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Тип электродвигателя	Номинальная мощность, кВт
А2-11-12	0,8	2830	АО2-51-2	10	2920	АО2-72-4	30
А2-12-2	1,3	2830	АО2-52-2	13	2920	АО2-71-6	17
А2-11-4	1,6	1350	АО2-51-4	7,5	1460	АО2-72-6	22
А2-12-4	0,8	1350	АО2-52-4	10	1460	АО2-71-8	13
А2-11-6	0,4	910	АО2-51-6	5,5	970	АО2-72-8	17
А2-12-6	0,6	910	АО2-52-6	7,5	970	АО2-81-2	40
А2-21-2	1,5	2860	АО2-51-8	4,0	730	АО2-82-2	55
А2-22-2	2,2	2860	АО2-52-8	5,5	730	АО2-81-4	40
А2-21-4	1,1	1400	АО2-62-2	17	2890	АО2-82-4	55
А2-22-4	1,5	1420	АО2-61-4	13	1460	АО2-84-6	30
А2-21-6	0,8	930	АО2-62-4	17	1450	АО2-82-6	40
А2-22-6	1,1	930	АО2-61-6	10	970	АО2-81-8	22
А2-31-2	3,0	2880	АО2-62-6	13	960	АО2-82-8	30
А2-32-2	4,0	2880	АО2-61-8	7,5	725	АО2-81-10	17
А2-31-4	2,2	1430	АО2-62-8	10	725	АО2-82-10	22
А2-32-4	3,0	1430	А2-71-2	30	2900	АО2-91-2	75
А2-31-6	1,5	950	А2-72-2	40	2900	АО2-92-2	100
А2-32-6	2,2	950	А2-71-4	22	1460	АО2-91-4	75
А2-41-2	5,5	2910	А2-72-4	30	1460	АО2-92-4	100
А2-42-2	7,5	2910	А2-71-6	17	970	АО2-91-6	55
А2-41-4	4,0	1440	А2-72-6	22	970	АО2-92-6	75
А2-42-4	5,5	1450	А2-71-8	13	730	АО2-91-8	50
А2-41-6	3,0	960	А2-72-8	17	730	АО2-92-8	55
А2-42-6	4,0	955	АО2-71-2	22	2900	АО2-91-10	30
А2-41-8	2,2	720	АО2-72-2	30	2900	АО2-92-10	40
А2-42-8	3,0	720	АО2-71-4	22	1460		

Примечание: Число после первого тире обозначает типоразмер, в котором первая цифра – порядковый номер наружного диаметра статора, вторая цифра – порядковый номер длины двигателя; цифра после второго тире – число полюсов.

Таблица 1.9. Основные стандарты по электродвигателям

Стандарт	Наименование
ГОСТ 9630-80 Е	Двигатели трехфазные асинхронные напряжением свыше 1000 В. Общие технические условия
ГОСТ 12049-75	Двигатели постоянного тока для машин напольного безрельсового электрифицированного транспорта. Общие технические условия
ГОСТ 14191-88 Е	Машины электрические вращающиеся малой мощности. Двигатели для звукозаписывающей аппаратуры и электропроигрывающих устройств назначения
ГОСТ 16264.0-85Е	Машины электрические малой мощности. Двигатели. Общие технические условия
ГОСТ 16264.1-85	Двигатели асинхронные. Общие технические условия

ГОСТ 16264.2-85	Двигатели синхронные. Общие технические условия
ГОСТ 16264.3-85	Двигатели коллекторные. Общие технические условия
ГОСТ 16264.4-85	Двигатели постоянного тока бесконтактные. Общие технические условия
ГОСТ 16264.5-85	Двигатели шаговые. Общие технические условия
ГОСТ 18058-80	Двигатели трехфазные асинхронные короткозамкнутые погружные серии ПЭД. Технические условия
ГОСТ 18200-90 Е	Машины электрические вращающиеся крупнее свыше 200 кВт. Двигатели синхронные. Общие технические условия
ГОСТ 24915-81	Двигатели трехфазные асинхронные напряжением 6000 В, мощностью от 200 до 1000 кВт. Ряды мощностей и установочных размеров
ГОСТ 26771-85	Микроэлектродвигатели для игрушек. Общие технические условия

В качестве муфт, служащих для соединения валов, в приводах использовать следующие:

- а) упругие: втулочно-пальцевые, с торообразной оболочкой;
- б) компенсирующие: зубчатая, кулачково - дисковая.

Одним из основных узлов привода является редуктор, состоящий из одной или нескольких передач, заключенных в закрытый корпус.

Редуктор служит для понижения угловой скорости и увеличения вращающего момента на выходном валу.

Пример 1.

Произвести кинематический расчет привода, показанного на рис.1.4, при следующих данных: диаметр барабана $D = 500$ мм, тяговое усилие на ленте $P = 4000$ Н, скорость ленты $v = 0,8$ м/с.

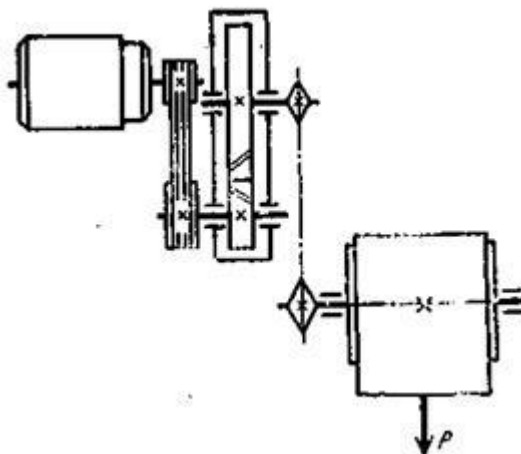


Рис. 1.4. Кинематическая схема привода ленточного транспортера

Решение.

Принимаем КПД передач (табл. 1.2), показанных на рис. 1.4:

ременной передачи $\eta_1 = 0,98$;

зубчатой пары $\eta_2 = 0,98$;

цепной передачи $\eta_3 = 0,96$;

потери в опорах трех валов $\eta_0^3 = 0,99^3$.

КПД всего привода

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_0^3 = 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,96 \cdot 0,99^3 = 0,89.$$

Требуемая мощность электродвигателя

$$P_{дв} = \frac{P_v}{\eta} = \frac{4000 \cdot 0,8}{0,89} = 3600 \text{ Вт.}$$

Частота вращения вала барабана

$$n_p = \frac{60v}{\pi D} = \frac{60 \cdot 0,8}{3,14 \cdot 0,5} \approx 30,5 \text{ об/мин.}$$

Из таблицы 1.6 выбираем ближайшие по мощности электродвигатели с повышенным пусковым моментом:

АО2-42-6, имеющий $N = 4$ кВт и $n = 955$ об/мин, и

АО2-41-4, у которого $N = 4$ кВт и $n = 1440$ об/мин.

Определяем передаточные отношения привода:

в первом случае

$$i = \frac{n}{n_p} = \frac{955}{30,5} = 31,4;$$

во втором

$$i = \frac{1440}{30,5} = 47,2.$$

Приемлемы оба типа двигателя; в первом варианте передаточное отношение может быть реализовано, например, так: по таблице 1.3 выбираем для ременной передачи $i_1 = 2$; для редуктора $i_2 = 4$ и для цепной передачи $i_3 = 4$. Общее $i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = 2 \cdot 4 \cdot 4 = 32$. Отклонение от заданного составит $\frac{32-31,4}{31,4} 100\% \approx 1,9\%$ (допускается отклонение до $\pm 3\%$).

После выбора электродвигателя и определения передаточного отношения редуктора выполняют расчеты зубчатых передач.

Пример 2.

Выбрать электродвигатель к кормоприготовительной машине (рис. 1.5), выполнить кинематический расчет и определить моменты вращения на валах при следующих исходных данных: мощность на рабочем валу машины $P = 1,5$ кВт, частота вращения рабочего вала $n_p = 30 \text{ мин}^{-1}$, синхронная частота вращения вала электродвигателя $n_{сэд} = 3000 \text{ мин}^{-1}$, режим нагружения — 5 (легкий).

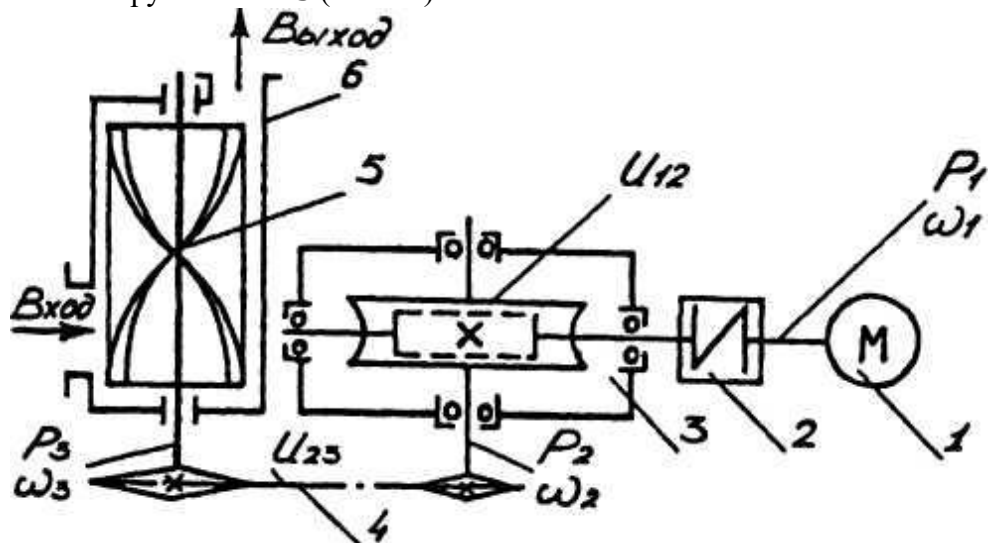


Рис. 1.5 Кинематическая схема привода:

- 1 — электродвигатель, 2 — муфта упругая; 3 — червячный редуктор;
4 — цепная передача; 5 — рабочий вал со спиральными лопастями; 6 — чан

Решение.

1. Определяем предварительное значение КПД привода.

$$\eta = \eta_{12} \eta_{23} \eta_m \eta_n^3 = 0,78 \cdot 0,94 \cdot 0,98 \cdot 0,99^3 = 0,71.$$

Значения η отдельных звеньев приняты по табл. 1.2; КПД червячной передачи (при двухзаходном червяке) $\eta_{12} = 0,78$; КПД цепной передачи $\eta_{23} = 0,94$; КПД муфты $\eta_m = 0,98$; КПД одной пары подшипников $\eta_n = 0,99$ (в нашем случае — три пары).

2. Определяем требуемую мощность на ведущем валу привода P' :

$$P' = P / \eta_{об} = 1,5 / 0,71 = 2,1 \text{ кВт}.$$

При заданном режиме нагрузки механизма принимаем по табл. 1.6, исходя из заданной синхронной частоты вращения ($n_{сэд} = 3000 \text{ мин}^{-1}$), электродвигатель серии А4 типа М80В2У3 с номинальной мощностью $P_{эд} = 2,2 \text{ кВт}$, асинхронной частотой вращения вала $n_{ном} = 2850 \text{ мин}^{-1}$; диаметр выступающего конца вала $d_1 = 22 \text{ мм}$ (потребуется при подборе муфты).

3. Определяем общее передаточное число привода и разбиваем его по ступеням:

$$u_{об} = n_{ном} / n_p = 2850 / 30 = 95$$

Так как $u_{об} = u_{12} \cdot u_{23}$, редуктор должен иметь стандартное передаточное значение (ГОСТ 2144–76), а привод в целом — компактные размеры, принимаем (табл. 1.10) $u_{12} = 28$, тогда передаточное число цепной передачи:

$$u_{23} = u_{об} / u_{12} = 94 / 28 = 3,36.$$

Таблица 1.10. Стандартные значения передаточных чисел червячных передач

1-й ряд	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
2-й ряд	-	-	-	140	180	225	280	355	71
Примечание: 1-й ряд следует предпочитать 2-му									

4. Определяем частоты вращения (угловые скорости) валов привода:

$$n_1 = n_{ном} = 2850 \text{ мин}^{-1}; \omega_1 = \pi n_1 / 30 = 3,14 \cdot 2850 / 30 = 298,3 \text{ с}^{-1};$$

$$n_2 = n_1 / u_{12} = 2850 / 20 = 142,5 \text{ мин}^{-1}; \omega_2 = \pi n_2 / 30 = 3,14 \cdot 100,7 / 30 = 10,54 \text{ с}^{-1};$$

$$n_3 = n_2 / u_{23} = 100,7 / 3,36 = 29,97 \text{ мин}^{-1}; \omega_3 = \pi n_3 / 30 = 3,14 \cdot 29,97 / 30 = 3,14 \text{ с}^{-1}.$$

5. Определяем моменты вращения на валах

$$T_1 = P_1 / \omega_1 = 2,1 \cdot 10^3 / 298,3 = 7,04 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_m \cdot \eta_{12} \cdot \eta_n^2 = 2,1 \cdot 0,98 \cdot 0,78 \cdot 0,99^2 = 1,57 \text{ кВт};$$

$$T_2 = P_2 / \omega_2 = 1,57 \cdot 10^3 / 10,5 = 149,52 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_3 = P_3 / \omega_3 = 2,1 \cdot 10^3 / 3,13 = 668,79 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

7.4 Примерный список вопросов, задаваемых на диф. зачете

Основы автоматизированного электропривода. Механика электропривода.

Понятие электропривода.

Классификация электропривода.

Кинематические и расчетные схемы.

Типовые статические нагрузки.

Уравнение движения.

1 Область применения электропривода.

2 Что представляет собой преобразовательное устройство?

3 По каким признакам классифицируют электропривод?

4 Что включает в себя механическая часть электропривода?

5 Что представляет собой кинематическая схема?

6 Для чего используют расчетные схемы?

7 Что является нагрузкой для электропривода?

- 8 Перечислите типовые статические нагрузки механические характеристики.
- 9 Какие нагрузки электропривода относят к реактивным?
- 10 Какие нагрузки электропривода относят к активным?
- 11 Нагрев и охлаждение электродвигателей.
- 12 Сравнение различных типов электродвигателей (в чем разница), характеристики, достоинства и недостатки, особенности их использования.

Электромеханические свойства двигателей.

Электромеханическое преобразование энергии.

Электродвигатели постоянного тока.

Асинхронные электродвигатели.

Синхронные электродвигатели.

- 1 В каких режимах может работать электромеханический преобразователь?
- 2 Для чего используются генераторные режимы в электроприводе?
- 3 Какие допущения принимают при математическом описании процессов, протекающих в электродвигательном устройстве.
- 4 Что представляет собой обобщенная электрическая машина?
- 5 Из каких основных частей состоит электромеханический преобразователь?
- 6 Дайте определение электромеханической и механической характеристикам?
- 7 Характерные точки механической характеристики ДПТ НВ.
- 8 Что характеризует жесткость механической характеристики?
- 9 Возможно ли увеличение напряжения якорной обмотки двигателя постоянного тока независимого возбуждения вверх от номинального значения? Поясните.
- 10 Как влияет уменьшение магнитного потока на скорость идеального холостого хода ω_0 двигателя постоянного тока независимого возбуждения?
- 11 Назовите характерные точки механической характеристики АД. Каков их смысл?
- 12 Изобразите семейство механических характеристик АД при изменении напряжения питания вниз от номинального значения.
- 13 В каких пределах можно изменять частоту питающей сети для регулирования скорости вращения асинхронного двигателя?
- 14 Почему для математического описания синхронной машины используют описание обобщенной машины в осях d, q ?
- 15 Какими способами можно регулировать скорость вращения синхронного электродвигателя?

Регулирование координат электропривода.

Основные показатели качества и способы регулирования координат ЭП.

Преобразовательные устройства.

Законы частотного управления электроприводом переменного тока.

Выбор преобразователя частоты.

- 1 Перечислите основные показатели качества регулирования.
- 2 Кратко опишите принципы регулирования: разомкнутое и замкнутое по отклонению и возмущению.
- 3 Типы преобразователей электрической энергии и перспективная область их применения.

- 4 Какие преобразовательные устройства используются в электроприводе постоянного тока?
- 5 Поясните зависимость перегрузочной способности асинхронного электродвигателя при различных способах регулирования его координат
- 6 Какие преобразовательные устройства используются в электроприводе переменного тока?
- 7 Частотно-регулируемые приводы, использующие технологию U/f.
- 8 Частотно-регулируемые приводы с использованием технологии векторного привода.
- 9 Электрические сервоприводы.
- 10 Принцип частотного регулирования скорости асинхронного двигателя.
- 11 На основе какого принципа реализуется плавное регулирование координат синхронного электродвигателя?
- 12 Назовите основные параметры электродвигателя, по которым производится выбор частотного преобразователя.
- 13 Максимизация эффективности систем управления двигателями с помощью преобразователей частоты

Энергетика электропривода. Основы выбора электродвигателей.

Потери в электроприводе.
Режимы работы электропривода.
Основы выбора электродвигателей.

- 1 Выбор электродвигателей для оборудования с различными типами нагрузки и режимами работы
- 1 Назовите основные энергетические показатели ЭП и методы их повышения.
- 2 Перечислите потери в электроприводе и причины их возникновения.
- 3 Как классифицируются режимы работы электродвигателя по условиям нагрева?
- 4 Назовите основные критерии, определяющие выбор электродвигателя по мощности.
- 5 Что характеризует постоянная времени нагрева электродвигателя?
- 6 В чем заключается метод эквивалентных величин при проверке электродвигателя по нагреву?
- 7 На что влияет неправильный выбор мощности электродвигателя?
- 8 Из чего складываются переменные потери?
- 9 Что такое продолжительность включения?
- 10 Как изменяется КПД электродвигателя при изменении нагрузки?
- 11 Для чего нужен электропривод с регулируемой скоростью?

Электрооборудование автоматизированного электропривода общепромышленных установок.

- 1 Перечислите основное электрооборудование мостового крана.
- 2 Какие основные защиты электрооборудования и блокировки применяются в схемах управления крановым электроприводом.
- 3 Назначение тормозного электромагнита в оборудовании крана.
- 4 Назовите основные механизмы, приводимые в движение электроприводом мостового крана.
- 5 Какие уровни напряжения питания силовых цепей и управления применяются в электрических схемах кранового электропривода.
- 6 Назначение и классификация лифтов.

- 7 Перечислите оборудование лифта, установленное в машинном помещении, шахте лифта и кабине.
- 8 Перечислите основную аппаратуру управления лифтов.
- 9 Какие требования предъявляются к электроприводу конвейера.
- 10 Какие установки относят к группе нагнетателей.
- 11 Какие уровни напряжения питания силовых цепей и управления применяются в электрических схемах лифтов.
- 12 Назначение электромагнитного тормоза в лифтовой установке, принцип его действия.
- 13 Управление электроприводом и техническое обслуживание.

8 Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение дисциплины

8.1 Перечень учебной литературы

Наименование печатных и (или) электронных учебных изданий, методические издания, периодические издания по всем входящим в реализуемую образовательную программу учебным предметам, курсам, дисциплинам (модулям) <i>в соответствии с рабочими программами дисциплин, модулей, практик</i>		Количество экземпляров	Обеспеченность студентов учебной литературой (экземпляров на одного студента)
Электронные учебные издания, имеющиеся в электронном каталоге электронно-библиотечной системы	Аносов, Владимир Николаевич. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов : Учебное пособие / В. Н. Аносов, В. А. Гуревич, В. М. Кавешников, Д. А. Котин. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2018. - 90 с.	1	1
	Петухов, С. В. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учебное пособие / С. В. Петухов, М. В. Кришнянис. - Архангельск : САФУ, 2020. - 105 с.	1	1
	Автоматизированный электропривод : учеб. пособие. - Омск : ОмГТУ, 2022. - 124 с.	1	1
	Хазиева, Р. Т. Автоматизированный электропривод в нефтегазовой отрасли : учеб. пособие / Р. Т. Хазиева, Р. Р. Афлятунов, П. И. Васильев. - Уфа : УГНТУ, 2021. - 62 с.	1	1
	Симаков, Г. М. Автоматизированный электропривод в современных технологиях : учебное пособие / Г. М. Симаков, . - Автоматизированный электропривод в современных технологиях, 2030-02-05. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2014. - 103 с.	1	1

8.2 Современные профессиональные базы данных, информационные справочные и электронно-библиотечные системы

№	Ссылка на информационный ресурс	Наименование ресурса в электронной форме	Доступность
Электронно-библиотечные системы			
1	https://dlib.eastview.com	База данных «Ивис»	Авторизованный доступ
2	https://urait.ru	Образовательная платформа Юрайт	Авторизованный доступ
3	http://www.iprbookshop.ru	ЭБС IPR SMART	Авторизованный доступ
4	http://znanium.com	ЭБС «Znanium»	Авторизованный доступ
5	https://e.lanbook.com	ЭБС «Лань»	Авторизованный доступ
6	https://lib.rucont.ru	ЭБС «Руконт»	Авторизованный доступ
7	https://ldiss.rsl.ru	Электронная библиотека диссертаций РГБ	Авторизованный доступ
Информационные справочные системы			
8	http://garant.ugrasu.ru/	СПС Гарант	Авторизованный доступ
9	http://www.consultant.ru/	СПС КонсультантПлюс	Авторизованный доступ
Профессиональные базы данных			
10	http://elibrary.ru	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	Авторизованный доступ

8.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, в том числе отечественного производства

MATLAB Academic new Product From 10 to 24 Concurrent Licenses (per License);
 Антивирус DrWeb;
 Антиплагиат.ВУЗ;
 Система ГАРАНТ;

8.4 Материально-техническое обеспечение дисциплины

8.4.1 Учебная аудитория лекционного типа

компьютер/ноутбук, проектор, экран, учебная мебель, учебная доска

8.4.2 Учебная аудитория для проведения практических занятий

учебная мебель, учебная доска

8.4.3 Учебная аудитория для самостоятельной работы

учебная мебель, компьютеры с выходом в интернет и доступом к электронной информационно-образовательной среде

