

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Рукович Александр Владимирович

Должность: Директор

Дата подписания: 09.01.2023 16:22:46

Уникальный программный ключ:

f45eb7c44954саас05ea7d4f32eb8d7d6b3cb96ae6d9b4bda094afdda9fb705f

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.К. АММОСОВА» Технический институт (филиал) ФГАОУ ВО «СВФУ» в г. Нерюнгри

Кафедра электропривода и автоматизации производственных процессов

Рабочая программа дисциплины  
**Б1.О.25 Электрический привод**

для программы бакалавриата  
по направлению подготовки

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Направленность (профиль) программы: «Электропривод и автоматика»

Форма обучения – очная

Автор: Шабо К.Я., к.т.н., доцент кафедры ЭПиАПП, e-mail: [kamilshabo@rambler.ru](mailto:kamilshabo@rambler.ru)

РЕКОМЕНДОВАНО	ОДОБРЕНО	ПРОВЕРЕНО
Заведующий кафедрой разработчика  протокол № _____ от «10» 05 2022 г.	Заведующий выпускающей кафедрой  протокол № _____ от «10» 05 2022 г.	Нормоконтроль в составе ОП пройден Специалист УМО/деканата  / К.А.Кравчук «23» 05 2022 г.
Рекомендовано к утверждению в составе ОП Председатель УМС  протокол УМС № _____ от «10» 05 2022 г.	Л.Д.Ядреева «15» 05 2022 г.	Зав.библиотеки  «20» 05 2022 г.

Нерюнгри 2022

**1. АННОТАЦИЯ**  
**к рабочей программе дисциплины**  
**Б1.О.25 Электрический привод**  
Трудоемкость 4 з.е.

**1.1. Цель освоения и краткое содержание дисциплины**

Основной целью дисциплины является формирование у студентов необходимых знаний и умений по современному электрическому приводу, что позволит им успешно решать теоретические и практические задачи в их профессиональной деятельности.

В курсе изучаются вопросы применения электродвигателей в промышленности, способы приспособления рабочих свойств электродвигателя к требованиям рабочих органов технологических объектов, современные системы электроприводов и их статические, энергетические и динамические характеристики, а также приобретаются навыки расчета, проектирования, наладки и исследования этих систем.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Создать у студентов правильное представление о сущности происходящих в электрических приводах процессов преобразования энергии и о влиянии требований рабочих машин и технологий на выбор типа и структуры электропривода.

2. Научить студентов самостоятельно выполнять простейшие расчеты по анализу движения электроприводов, определению их основных параметров и характеристик, оценке энергетических показателей работы и выборе двигателя и проверке его по нагреву.

3. Научить студентов самостоятельно проводить элементарные лабораторные исследования электрических приводов.

*Краткое содержание:*

История развития электропривода, механика электропривода, электропривод постоянного и переменного электропривода, синхронные электропривода, разные системы регулирования.

**1.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Наименование категории (группы) компетенций	Планируемые результаты освоения программы (код и содержание компетенции)	Индикаторы достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине	Оценочные средства
Проектный.	ПК-2: Способен проводить обоснование проектных решений.	ПК-2.1: Рассчитывает и проектирует технические объекты в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования. ПК-2.4: Техничко-экономически	<b>Знать:</b> Основы теории электропривода при решении задач проектирования; математические модели и программные комплексы для численного анализа физических	Разноуровневые задания, лабораторные работы, РГР, Тест.

эксплуатационный		обоснует принимаемые проектные решения.	процессов в электроприводе; современные схемы управления электроприводами. <b>Уметь:</b> использовать приближенные методы расчета и выбора основных элементов электрических приводов.
	ПК-3: Способен применять методы и технические средства эксплуатационных испытаний и диагностики электроэнергетического и электротехнического оборудования.	ПК-3.1: Организует эксплуатацию электрооборудования на среднем и низком напряжении.	<b>Владеть:</b> Навыками формулирования, постановки задач, и расчетов установившихся и переходных процессов в электроприводах; расчета мощности электродвигателей для различных режимов работы; расчета энергетических показателей работы электропривода; навыками проведения лабораторных испытаний электрических приводов.
	ПК-4: Готов к участию в выполнении ремонтов оборудования по заданной методике.	ПК-4.1: Проверяет техническое состояние и остаточный ресурс электро-энергетического и электротехнического оборудования, организует профилактические осмотры и текущий ремонт. ПК-4.2: Составляет инструкции по эксплуатации оборудования и программы испытаний.	
	ПК-5: Готов к составлению заявок на оборудование и запасные части и подготовке технической документации на	ПК-5.1: Применяет и осваивает вводимое электроэнергетическое и электротехническое оборудование.	

	ремонт.	ПК-5.2: Составляет заявки на оборудование и запасные части, подготавливает техническую документацию на ремонт.		
--	---------	---	--	--

### 1.3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Индекс	Наименование дисциплины (модуля), практики	Семестр изучения	Индексы и наименования учебных дисциплин (модулей), практик	
			на которые опирается содержание данной дисциплины (модуля)	для которых содержание данной дисциплины (модуля) выступает опорой
Б1.О.25	Электрический привод	5	Б1.О.18 Теоритические основы электротехники. Б1.О.20 Электрические машины	Б1.В.02 Теория электропривода Б2.В.03(П) Производственная эксплуатационная практика Б2.В.04(Пд) Производственная преддипломная практика.

### 1.4. Язык преподавания: русский

**2. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Выписка из учебного плана (гр. БП-ЭП-22):

Код и название дисциплины по учебному плану	Б1.О.25 Электрический привод	
Курс изучения	3	
Семестр(ы) изучения	5	
Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен)	экзамен	
Расчетно-графическая работа, семестр выполнения	5	
Трудоемкость (в ЗЕТ)	4 ЗЕТ	
<b>Трудоемкость (в часах) (сумма строк №1,2,3), в т.ч.:</b>	144	
<b>№1. Контактная работа обучающихся с преподавателем (КР), в часах:</b>	Объем аудиторной работы, в часах	В т.ч. с применением ДОТ или ЭО <sup>1</sup> , в часах
Объем работы (в часах) (1.1.+1.2.+1.3.):	87	-
1.1. Занятия лекционного типа (лекции)	34	-
1.2. Занятия семинарского типа, всего, в т.ч.:	-	-
- семинары (практические занятия, коллоквиумы т.п.)	34	-
в том числе в форме практической подготовки	34	
- лабораторные работы	17	-
- практикумы	-	-
1.3. КСР (контроль самостоятельной работы, консультации)	2	-
<b>№2. Самостоятельная работа обучающихся (СРС) (в часах)</b>	30	
<b>№3. Количество часов на экзамен (при наличии экзамена в учебном плане)</b>	27	

<sup>1</sup>Указывается, если в аннотации образовательной программы по позиции «Сведения о применении дистанционных технологий и электронного обучения» указан ответ «да».

### 3. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 3.1. Распределение часов по разделам и видам учебных занятий

Раздел	Всего часов	Контактная работа, в часах								Часы СРС	
		Лекции	из них с применением ЭО и ДОТ	Семинары (практические занятия, коллоквиумы)	из них с применением ЭО и ДОТ	Лабораторные работы	из них с применением ЭО и ДОТ	Практикумы	из них с применением ЭО и ДОТ		КСР (консультации)
История развития ЭП. Назначение, функции, структура, классификация электроприводов.	20	8		8							4(ПР)
Механика электропривода.	38	12		12		7				1	6(ПР)
Электромеханические свойства и характеристики электродвигателей.	59	14		14		10				1	8(ЛР) 6(ПР) 6(РГР)
<b>Экзамен</b>	27										
<b>Всего часов за семестр</b>	144	34		34		17				2	30

Примечание: ПР-подготовка к практическим работам. ЛР-подготовка к лабораторным занятиям. РГР – выполнение расчетно-графической работы.

#### 3.2. Содержание тем программы дисциплины

##### Тема 1. Введение.

История развития электропривода. Назначение, функции, структурная схема электропривода, классификация электроприводов.

##### Тема 2. Механика электропривода.

Механическая часть электропривода. Моменты и силы упругого взаимодействия. Составление расчетных механических схем, приведение движущихся масс, жесткостей связей и нагрузок к расчетной скорости. Обобщенные расчетные схемы механической части электропривода. Типовые статические нагрузки электропривода, учет потерь.

Уравнения движения связанных масс электропривода при постоянном и переменном передаточном числе, радиусе приведения и инерционных массах. Механическая часть электропривода как объект управления. Структурные схемы и передаточные функции. Механические переходные процессы. Ускорение и замедление. Пуск, реверс, торможение и выбег.

### **Тема 3. Электромеханические свойства и характеристики электродвигателей.**

Обобщенное математическое описание динамических процессов электромеханического преобразования энергии. Исходные уравнения.

Уравнения и структурные схемы двигателей постоянного тока с независимым (параллельным) возбуждением.

Каналы управления полем и цепью якоря, их особенности. Естественные и искусственные статические электромеханические и механические характеристики. Влияние реакции якоря. Тормозные режимы работы.

Уравнения двигателей постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения. Естественные и искусственные статические электромеханические и механические характеристики двигателя. Режимы работы двигателя. Особенности характеристик двигателя со смешанным возбуждением. Расчет добавочных сопротивлений в силовой цепи.

Электромеханические свойства и характеристики асинхронных и синхронных двигателей.

Математическое описание и схемы замещения асинхронного двигателя. Естественные характеристики. Особенности характеристик асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Тормозные режимы асинхронных двигателей. Динамические свойства асинхронного электромеханического преобразователя.

Электромеханические свойства и особенности характеристик синхронных и других типов двигателей.

### **3.3. Формы и методы проведения занятий, применяемые учебные технологии:**

Для изучения дисциплины предусмотрены следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, расчетно-графические задания, самостоятельная работа студентов, индивидуальные и групповые консультации.

В процессе преподавания дисциплины специальные интерактивные технологии не предусмотрены.

### **4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине. Содержание СРС**

№	Наименование раздела (темы) дисциплины	Вид СРС	Трудо-емкость (в часах)	Формы и методы контроля
1	История развития ЭП. Назначение, функции, структура, классификация ЭП.	Выполнение конспекта	4	Анализ теоретического материала, внеауд.СРС Выполнение РГР Выполнение П/Р Выполнение Л/Р
2	Механика электропривода.	Выполнение ПР	6	Анализ теоретического материала, внеауд.СРС Выполнение РГР Выполнение П/Р Выполнение Л/Р
3	Электромеханические свойства и характеристики электродвигателей	Выполнение ПР Выполнение ЛР Выполнение РГР	20	Анализ теоретического материала, внеауд.СРС Выполнение РГР Выполнение П/Р Выполнение Л/Р

Всего часов		30	
-------------	--	----	--

### Расчетно-графическая работа (5 семестр).

#### Задание для расчетно-графической работы

В качестве двигателя механизма используется двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТн.в.) серии П.

При выполнении контрольной работы необходимо:

1) рассчитать и построить по паспортным данным (приложение 1) естественные электромеханическую  $\omega(I)$  и механическую  $\omega(M)$  характеристики в I, II и IV квадрантах; назвать режимы работа двигателя, иллюстрируя показом расположения направлений питающего напряжения, токов и ЭДС цепи якоря; показать направление движения электрической и механической мощностей для всех режимов в т.ч. и для граничных;

2) рассчитать аналитически и графически сопротивления пусковых резисторов и построить диаграмму пуска ДПТн.в.;

3) рассчитать аналитически сопротивления тормозных резисторов и построить диаграмму торможения ДПТн.в.;

4) для режимов пуска и торможения начертить схему замещения двигателя и цепей управления.

Таблица 1.1.

Типоразмеры ДПТн.в. серии 2П

Вариант	1	2	3	4	5	6	7
Типоразмер	2ПН13 2	2ПН13 2	2ПН13 2	2ПН13 2	2ПН13 2	2ПН13 2	2ПН13
Мощность, кВт	3	4	5,5	7	8,5	10,5	14

Вариант	8	9	10	11	12	13	14
Типоразмер	2ПБ1 32	2ПБ132	2ПБ132	2ПО 132	2ПО 132	2ПО 132	2ПО 132
Мощность, кВт	3,7	4,5	5,3	3,4	4,5	5,3	5,5

Вариант	15	16	17	18	19	20	21
Типоразмер	2ПФ 132	2ПФ 132	2ПФ 132	2ПФ 132	2ПФ 132	2ПФ 132	2ПН16 0
Мощность, кВт	4	4,2	5,5	6	7,5	11	4,5

Вариант	22	23	24	25	26	27	28
Типоразмер	2ПН16 0	2ПН16 0	2ПН16 0	2ПН16 0	2ПБ1 60	2ПБ1 60	2ПБ1 60
Мощность, кВт	6,3	7,5	11	13	6	7,5	8,1

Таблица 1.2.

Требование к пусковым режимам двигателя

Вариант	1	2	3	4	5	6	7
$I_c / I_n$	0,7	0,75	0,8	0,65	0,7	0,75	0,8
Z	2	3	-	-	4	2	3



$\lambda = I_1 / I_2$	-	-	2,2	2,4	-	-	-
-----------------------	---	---	-----	-----	---	---	---

Вариант	8	9	10	11	12	13	14
$I_c / I_n$	0,9	0,8	0,75	0,85	0,7	0,75	0,65
Z	3	4	-	-	3	4	-
$\lambda = I_1 / I_2$	-	-	2,0	2,2	-	-	1,8

Вариант	15	16	17	18	19	20	21
$I_c / I_n$	0,8	0,9	0,85	0,7	0,75	0,65	0,8
Z	-	-	3	4	-	-	3
$\lambda = I_1 / I_2$	2,1	2,4	-	-	2,2	2,0	-

Вариант	22	23	24	25	26	27	28
$I_c / I_n$	0,9	0,75	0,8	0,65	0,85	0,7	0,8
Z	4	3	-	-	3	4	-
$\lambda = I_1 / I_2$	-	-	2,2	2,4	-	-	2,0

## 1. Методические указания по выполнению контрольных работ

### 2.1. Построение естественных электромеханических и механических характеристик ДПТ н.в.

Для построения указанных характеристик записать необходимые уравнения, в которых все переменные будут соответствовать номинальным параметрам, указанным в паспортных данных на рассматриваемые двигатели (приложение 1).

Сопротивление якорной цепи двигателя включает сопротивление всех последовательно включенных обмоток:

$$r_{\text{я.ц.}} = r_{\text{я}} + r_{\text{д.п.}} + r_{\text{к.о.}}, \quad (2.1)$$

где  $r_{\text{я}}$  – сопротивление обмотки якоря, Ом;

$r_{\text{д.п.}}$  – сопротивление обмотки дополнительных полюсов, Ом;

$r_{\text{к.о.}}$  – сопротивление компенсационной обмотки, Ом.

В случае отсутствия данных о сопротивлении якорной цепи, его можно определить по эмпирической формуле через к.п.д., исходя из предложения, что половина потерь имеет место в активных сопротивлениях обмоток якорной цепи:

$$r_{\text{я.ц.}} = 0,5(1 - \eta_n)R_n, \quad (2.2)$$

где  $\eta_n$  – к.п.д. двигателя в номинальном режиме;

$R_n = U_n / I_n$  – номинальное сопротивление силовой цепи двигателя, состоящее из собственного  $r_{\text{я}}$  и внешнего  $R_{\text{вн}}$ , которые при неподвижном (заторможенном) якоре двигателя и номинальном напряжении питания  $U_n$  обеспечивают протекание номинального тока  $I_n$  по его цепи, Ом.

Для расчета характеристик необходимо знать значение конструктивного коэффициента двигателя

$$k = pN / 2\pi a, \quad (2.3)$$

где  $p$  – число пар полюсов двигателя;

$N$  – число активных проводников обмотки якоря;

$a$  – число пар параллельных ветвей обмотки якоря.

А также необходимо знать номинальное значение магнитного потока  $\Phi_n$ , который не всегда приводится в справочных данных и его приходится определять по универсальной кривой намагничивания для соответствующего типа двигателя  $\Phi = f(I_n)$ , которая, как правило, отсутствует в паспортных данных двигателя. Поэтому удобнее произведение  $k\Phi_n$  находить из уравнения электромеханической характеристики, записанной для номинального режима:

$$k\Phi_n = \frac{U_n - I_n r_{я.ц.}}{\omega_n}, \quad (2.4)$$

Поскольку искомые характеристики линейные, то для их построения достаточно иметь координаты двух точек. Обычно следует брать точки граничных режимов: холостого хода  $(\omega_0, 0)$  и короткого замыкания  $(0, I_{кз}$  или  $0, M_{кз})$

Для иллюстрации направлений напряжения питания, тока и ЭДС необходимо привести для каждого режима схему электрическую функциональную якорной цепи двигателя, рис.2.1, и графики характеристик, рис.2.2, где в качестве примера изображены лишь направления для двигательного режима, а также направление мощностей: электрической  $P_э$ , механической  $P_м$  и мощности потерь  $\Delta P$ . Аналогично изобразить и для генераторных режимов: с рекуперацией энергии в сеть; противовключения под действием активного момента и при смене полярности питающего напряжения; при динамическом торможении и в граничных режимах (холостого хода и короткого замыкания). Все режимы с необходимой информацией показать также, рис.2.2.

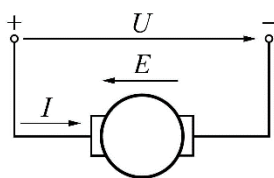


Рис. 2.1

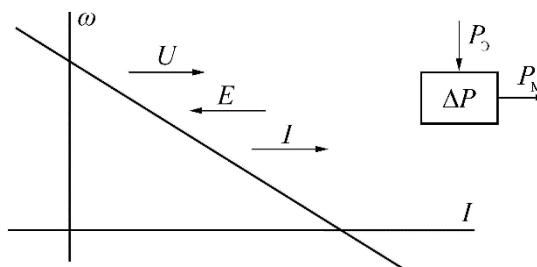


Рис. 2.2

## 2.2. Расчет и построение диаграммы пуска ДПТ н.в.

Диаграммы пуска, рис 2.3., представляют собой семейство искусственных механических (электромеханических) характеристик при различных сопротивлениях цепи якоря, где переход с одной характеристики на другую может осуществляться в функции тока (момента), скорости, времени или ЭДС якоря двигателя. Величины пиковых токов  $I_1$  (моментов  $M_1$ ) и переключающих  $I_2$  ( $M_2$ ) определяются или задаются, исходя из режимов пуска и быстроты разгона двигателя.

Расчет сопротивлений пусковых резисторов можно осуществлять как аналитическим, так и графическим способами. Оба способа базируются на одних и тех же положениях.

При графическом способе по двум исходным данным из трех:

пиковому  $I_1$ , переключающему  $I_2$  токам и числу ступеней  $Z$  путем нескольких повторений строится пусковая диаграмма двигателя.

При аналитическом способе по двум исходным данным рассчитывается третье, и если неизвестным было число степеней  $Z$ , то результат округляется до ближайшего целого числа и определяется новое значение одного из величин  $I_1$  или  $I_2$ , а затем строится пусковая диаграмма. Величины  $I_1, I_2$  и  $Z$  связаны между собой, поэтому задаваться произвольно можно только двумя из них.

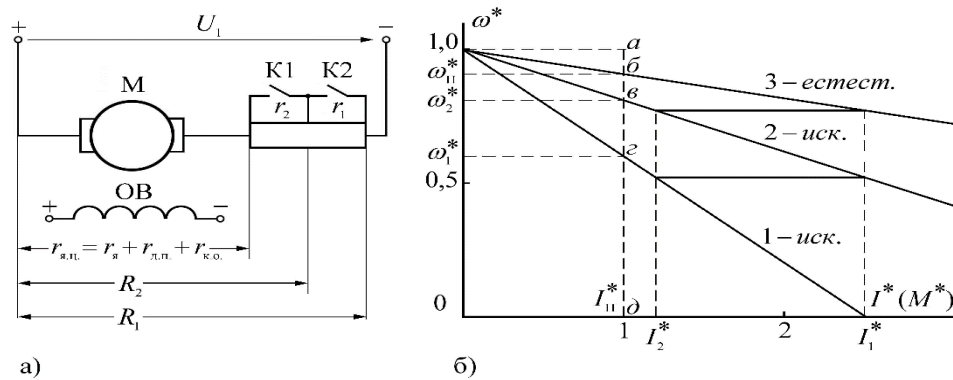


Рис.2.3 а) схема включения пусковых резисторов; б) диаграмма пуска.

Схема выключения пусковых регистров приведена на рис. 2.3 а, где  $r_я, R_1, R_2$  - сопротивления участков цепи;  $r_я, r_1, r_2$  - сопротивления якоря двигателя и ступеней пускового резистора.

В большинстве практических случаев момент сопротивления в процессе пуска принимается постоянным. При этом пики тока или момента обычно выбираются одинаковыми на всех ступенях. Тогда пусковая диаграмма будет иметь вид, приведенный на рис. 2.3 б, где характеристики 1 и 2 – искусственные, а 3 – естественная.

Методика расчета величин сопротивлений пусковых резисторов зависит от двух условий:

- 1) число ступеней пуска  $Z$  задано;
- 2) число ступеней не задано и его требуется определить.

Режим пуска может быть нормальный, форсированный плавный или неплавный, что является определяющим в задании и выборе значений  $I_1, I_2$  или  $Z$  при расчетах сопротивлений пусковых резисторов в каждом из двух условий.

Соответствующие условия оговариваются в исходных данных контрольной работы, а режим пуска принимается нормальным.

На практике для расчетов используются либо абсолютные, либо относительные единицы, представляющие собой отношение текущих значений величин к базовым. В качестве базовых величин принимаются:  $U_н, I_н$  и  $\omega_о$ .

Расчеты в относительных единицах более универсальны и в большинстве случаев упрощают используемые формулы.

### 2.2.1. Аналитический способ расчета сопротивлений пусковых резисторов

Аналитический способ сопротивлений пусковых резисторов точнее графического и отнимает меньше времени. Графический способ дает хорошую наглядность.

Для большинства случаев, когда в режиме ускорения пиковые и переключающие моменты принимаются одинаковыми, лучше пользоваться аналитическим способом. В тех же случаях когда на разных ступенях ускорения пиковые и переключающие моменты по условиям привода принимаются различными, выведенные ниже формулы для аналитического расчета непригодны и следует пользоваться только графическим способом.

Если задано число ступеней пускового резистора  $Z$ , то при нормальном пуске необходимо задаваться током (моментом) переключения. Величина переключающего тока (момента)  $I_2$  обычно берется на (10-20)% больше тока статистической нагрузки  $I_c$ .

Тогда можно определить отношение пикового тока (момента)  $I_1$  к переключающему  $I_2$  с обязательной последующей проверкой условия  $I_1 \leq 2,5I_n$ :

$$\lambda = I_1 / I_2 = \sqrt[z+1]{1 / r_{я.ц.}^* \cdot I_2^*} \quad (2.5)$$

где  $Z$  - число ступеней пускового резистора;

$r_{я.ц.}^* = r_{я.ц.} / R_n$  - относительное значение сопротивления якорной цепи двигателя, Ом;

$R_n = U_n / I_n$  - номинальное сопротивление силовой цепи двигателя, состоящее из внутреннего  $r_{я.ц.}$  и внешнего  $R_{вн}$ , которое при неподвижном (заторможенном) якоре и номинальном для двигателя напряжении  $U_n$  обеспечивает протекание номинального тока в якоре  $I_n$ , Ом;

$U_n, I_n$  - номинальные значения соответственно напряжения и тока якоря двигателя;

Если условие  $I_1 \leq 2,5I_n$  не выполняется, то необходимо изменить в сторону уменьшения величину задаваемую тока  $I_2$ . В случае невозможности уменьшения  $I_2$ , из-за несоблюдения условия  $I_2 = (1,1 \div 1,2)I_c$ , необходимо увеличить число ступеней пускового реостата  $Z$ .

Абсолютное и относительные значения пикового тока можно определить из выражений:

$$I_1 = \lambda I_2, \quad I_1^* = I_1 / I_n = \lambda I_2^*. \quad (2.6)$$

Если неизвестно число ступеней, то оно может быть найдено из выражения:

$$Z = \frac{\lg \frac{1}{r_{я.ц.}^* I_1^*}}{\lg \lambda}, \quad (2.7)$$

где  $\lambda = I_1 / I_2 = I_1^* / I_2^*$  - отношение пикового тока к переключающему, взятое из таблицы 1.2.

Для нормального пуска задается ток переключения  $I_2$  из условия  $I_2 = (1,1 \div 1,2)I_c$ , а затем через  $\lambda$  определяется  $I_1$  и соответственно  $I_1^*$ . Если получится дробное значение  $Z$ , то его округляют до целого и определяется новое значение  $I_1$ , которое не должно

превосходить  $2.5I_n$ . После округления  $Z$  и определения нового значения  $I_1$  проверяется выполнение условия:  $I_2 > 1,1I_c$ . Если условие не выполняется, то следует провести округление  $Z$  в другую сторону или задаться другим значением  $I_2$  с повторением соответствующих расчетов и проверок.

Если не задано  $\lambda$ , то для нормального пуска следует задаваться токами  $I_1$  и  $I_2$  из условия:  $I_1 \leq 2.5I_n$ ,  $I_2 \geq (1,1 \div 1,2)I_c$  с проведением расчетов и проверок, аналогичных изложенным выше.

Далее проводится расчет в абсолютных или относительных единицах полных сопротивлений резисторов цепи:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= U_{\text{ном}} / I_1; \\ R_2 &= R_1 / \lambda; \\ R_3 &= R_1 / \lambda^2; \\ \dots & \\ R_n &= R_1 / \lambda^{n-1} \end{aligned} \right\} \text{или} \left. \begin{aligned} R_1^* &= 1 / I_1^*; \\ R_2^* &= 1 / I_1^* \lambda; \\ R_3^* &= 1 / I_1^* \lambda^2; \\ \dots & \\ R_n^* &= 1 / I_1^* \lambda^{n-1} \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

и сопротивлений резисторов ступеней:

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= R_1 - R_2; \\ r_2 &= R_2 - R_3; \\ r_3 &= R_3 - R_4; \\ \dots & \\ r_n &= R_n - r_{\text{я.ц}} \end{aligned} \right\} \text{или} \left. \begin{aligned} r_1^* &= \frac{1}{I_1^*} \cdot \frac{\lambda - 1}{\lambda}; \\ r_2^* &= \frac{1}{I_1^*} \cdot \frac{\lambda - 1}{\lambda^2}; \\ \dots & \\ r_n^* &= \frac{1}{I_1^*} \cdot \frac{\lambda - 1}{\lambda^n} \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

После расчета сопротивлений ступеней необходимо провести проверку:

$$r_{\text{я.ц.}} + r_1 + r_2 + \dots + r_n = R_1 \quad (2.10)$$

### 2.2.2. Графический способ расчета сопротивлений пусковых резисторов

Отрезок  $ab$ , равный  $(1 - \omega_n^*)$  и измеренный в масштабе относительной скорости, соответствует сопротивлению якоря двигателя  $r_{\text{я.ц.}}^*$  в относительных единицах. Аналогично определяются остальные полные сопротивления цепи:  $ав - R_2^*$ ,  $аг - R_1^*$ ,  $ад - R_n^*$  и сопротивления ступеней:  $бв - r_2^*$ ,  $вг - r_1^*$ .

Полные сопротивления якорной цепи и ступеней в абсолютных единицах определяются из соотношений:

$$R_i = R_i^* \cdot R_n \quad \text{и} \quad r_i = r_i^* R_n$$

Следует сравнить величины полных сопротивлений и сопротивлений ступеней, рассчитанных аналитически в п.2.2.1, с сопротивлениями, определенными графически по пусковой диаграмме.

При этом возможна небольшая разница по сравнению с результатами, полученными аналитическим путем, из-за неточности графических построений.

**Критерии выставления оценок за выполнение и защиту РГР:**

<b>Характеристика выполнения и защиты РГР</b>	<b>Количество набранных баллов</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- работа сдана в срок,</li> <li>- оформление соответствует требованиям ГОСТ ЕСКД,</li> <li>- имеется список использованной литературы, содержащей справочный материал и источники профессиональных баз данных,</li> <li>- практическое задание решено правильно, с обоснованием применяемых теоретических положений и сопровождается необходимым анализом и интерпретацией полученных результатов;</li> <li>- теоретическая взаимосвязь с практической частью освещена в полном объеме, глубоко, с использованием различных источников научно-технической информации.</li> <li>- при защите указывается взаимосвязь выполненных расчетов с последующими, четко обосновывается выполненный расчет;</li> <li>- при защите прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений</li> <li>- на вопросы даются полные исчерпывающие обоснованные ответы</li> </ul>	<p>21,1-25, «отлично»</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- работа сдана в срок,</li> <li>- оформление соответствует требованиям ГОСТ ЕСКД,</li> <li>- имеется список использованной литературы, содержащей справочный материал и источники профессиональных баз данных,</li> <li>- в практической части задания имеются отдельные недостатки, не влияющие на окончательный результат исследования;</li> <li>- при освещении теоретической взаимосвязи с практической частью был использован только один источник научной информации, но вопрос освещен в целом правильно;</li> <li>- четко обосновывается выполненный расчет;</li> <li>- при защите прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений</li> <li>- на вопросы даются обоснованные ответы, допускаются незначительные недочеты</li> </ul>	<p>17,1-21, «хорошо»</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- работа сдана в срок,</li> <li>- оформление соответствует требованиям,</li> <li>- имеется список использованной литературы, содержащей справочный материал,</li> <li>- практическое задание выполнено со значительными ошибками</li> <li>- не в полном объеме освещена теоретическая взаимосвязь с практической частью, поверхностное обоснование без примеров и необходимых обобщений;</li> <li>- при защите прослеживается не четкая последовательность, не совсем верно с затруднениями обосновывается выполненный расчет;</li> </ul>	<p>12,5-17, «удовлетворительно»</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- допускаются неточности в формулировках, исправленные студентом, с помощью преподавателя</li> <li>- ответы на дополнительные вопросы даны в полном объеме, могут содержать небольшие неточности</li> <li>- в схемах допущены неточности</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- оформление не соответствует требованиям,</li> <li>- список литературы содержит справочный материал,</li> <li>- неуверенность в применении справочной литературы,</li> <li>- не выполнены требования на оценку «удовлетворительно»</li> <li>- отсутствует выполнение большей части задания или неверность решения.</li> <li>- при защите допущены неточности в изложении, грубые ошибки,</li> <li>- не верно обосновывается выполненный расчет;</li> <li>- изложение основных аспектов несвязно,</li> <li>- отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения,</li> <li>- структура расчетов не соответствует содержанию,</li> <li>- на большую часть дополнительных вопросов даны неправильные ответы,</li> <li>- в схемах допущены неточности, чертежи выполнены не верно</li> <li>- ответы на наводящие вопросы не верные.</li> </ul>	менее 15, «неудовлетворительно»

*\*В таблице приведено количество баллов, которое студент может набрать за выполнение РГР в течение семестра.*

### **Лабораторные работы или лабораторные практикумы**

№	Наименование раздела (темы) дисциплины	Лабораторная работа или лабораторный практикум	Трудоемкость (в часах)	Формы и методы контроля
1	Механика электропривода.	Исследование основных элементов системы ЭП. Изучение стенда.	4	Оформление работы в соответствии с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ.
2	Электромеханические и механические свойства и характеристики электродвигателей постоянного тока (ДПТ).	Исследование характеристик ДПТ с НВ.	4	Оформление работы в соответствии с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ.
3	Электромеханические и механические свойства и характеристики асинхронного двигателя (АД).	Исследование характеристик АД с ФР.	4	Оформление работы в соответствии с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ.
4	Электрические свойства и характеристики синхронного двигателя	Исследование характеристик СД. Защита ЛР.	5	Оформление работы в соответствии с методическими

(СД)			указаниями по выполнению лабораторных работ.
Всего часов		17	

### Работа на лабораторном занятии

В период освоения дисциплины студенты посещают лекционные занятия, самостоятельно изучают дополнительный теоретический материал к лабораторным занятиям. Критериями оценки работы на лабораторных занятиях является: владение теоретическими положениями по теме, выполнение лабораторных работ. Самостоятельная работа студентов включает проработку методических рекомендаций и дополнительной учебной литературы в соответствии с планом занятия; выполнение лабораторных работ. Основной формой проверки СРС является проведение лабораторных работ и письменное написание полученных результатов согласно методическим рекомендациям.

Содержание дисциплины, разработка лабораторных занятий с указанием основной и дополнительной литературы к каждому занятию, а также методические рекомендации к выполнению лабораторных заданий, образцы их выполнения представлены в Методических указаниях по курсу «Электрический привод». Методические указания стандарта 2010 г. АУД.503.

Критериями для оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения учебного материала;
- умение использовать теоретические знания при выполнении лабораторных работ;
- правильность выполнения лабораторных работ;
- обоснованность и четкость изложения результатов.

Максимальный балл, который студент может набрать на лабораторном занятии, - 20 баллов.

### Критерии оценки:

Характеристика ответа на теоретический вопрос / выполнения одной лабораторной работы	Количество набранных баллов (1 ЛР)
<p><i>Получен допуск к выполнению лабораторной работы</i> подразумевающий, что теоретический материал, изложен в объеме, необходимом для выполнения лабораторной работы; сформулированы цели и задачи, требующие решения в ходе выполнения лабораторной работы; приведены необходимые схемы, формулы и соотношения, решены предложенные задачи; обозначена последовательность выполнения лабораторной работы, с соблюдением правил техники безопасности..</p> <p><i>Лабораторная работа выполнена в полном объеме</i>, самостоятельно, с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений, все опыты проведены в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов, соблюдены требования правил техники безопасности, продемонстрировано умение читать и собирать электрические схемы со знанием символики, понимания терминологии. <i>На дату защиты предоставлен отчет</i> по результатам лабораторной работы, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ единой системы конструкторской документации (ЕСКД), полностью отображающий проведенные исследования. В ходе защиты продемонстрировано знание основных законов и методов анализа процессов, протекающих в исследуемой области, логично и грамотно изложены умозаключения и выводы.</p>	4,1-5 б.



<p>Получен допуск к выполнению лабораторной работы. Лабораторная работа выполнена в полном объеме, с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений, все опыты проведены в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов, соблюдены требования правил техники безопасности, продемонстрировано умение читать и собирать электрические схемы. В процессе выполнения лабораторной работы студент обращался за помощью к преподавателю. На дату защиты (или в срок не позднее 3 дней от даты защиты) предоставлен отчет по результатам лабораторной работы, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ единой системы конструкторской документации (ЕСКД), полностью отображающий проведенные исследования. В ходе защиты продемонстрировано знание основных законов и методов анализа процессов, протекающих в исследуемой области. При ответах допущены неточности, корректируемые студентом с подсказки преподавателя.</p>	3,1-4 б.
<p>Получен допуск к выполнению лабораторной работы. Лабораторная работа выполнена в полном объеме, с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений, соблюдены требования правил техники безопасности. В процессе выполнения лабораторной работы студент обращался за помощью к преподавателю. Отчет по результатам лабораторной работы, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ единой системы конструкторской документации (ЕСКД), полностью отображающий проведенные исследования, предоставлен не в срок. В ходе защиты продемонстрировано знание основных законов и методов анализа процессов, протекающих в исследуемой области. При ответах допущены ошибки, корректируемые студентом с подсказки преподавателя.</p>	2,1-3 б.
<p>При получении допуска к выполнению лабораторной работы ответы выявили незнание студентом определений основных понятий, законов, правил, основных положений теории, формул, незнание приемов решения задач, аналогичных ранее решенным на практических занятиях, т.е. уровень знаний не позволяет ему провести опыт, необходимые расчеты, или использовать полученные данные для формулировки выводов. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента. или Ответ на вопрос полностью отсутствует или Отказ от ответа</p>	0 б.

### Темы практических занятий:

1. Механика электропривода. Приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя. Основное уравнение движения электропривода.
  2. Двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ<sub>НВ</sub>). Расчет механических и электромеханических характеристик. Обеспечение работы двигателя в заданной точке  $M_{зад.}$ ,  $\omega_{зад.}$  двигательного и тормозного режимов.
  3. Двигатель постоянного тока последовательного возбуждения (ДПТ<sub>ПВ</sub>). Расчет механических и электромеханических характеристик. Обеспечение работы двигателя в заданной точке  $M_{зад.}$ ,  $\omega_{зад.}$  двигательного и тормозного режимов.
  4. Асинхронный двигатель (АД). Расчет механических и электромеханических характеристик. Обеспечение работы двигателя в заданной точке  $M_{зад.}$ ,  $\omega_{зад.}$  двигательного и тормозного режимов.
  - 5.. Расчет механических и электромеханических характеристик АД при питании от источников тока.
- Практические работы представляют собой решение практических задач по перечисленным темам. Варианты заданий выдаются преподавателем.

### Критерии оценки:

Характеристика выполнения практических заданий	Количество набранных баллов
--	-----------------------------

Верное решение всех задач практических работ.	15
Неверное решение задач.	0

*\*В таблице приведено количество баллов, которое студент может набрать за выполнение всех практических работ в течение семестра.*

### Темы тестов:

Тест №1. Двигатели постоянного тока.

Тест №2 Двигатели переменного тока.

### Примеры тестовых заданий

Отметьте правильный ответ

1. Уравнение равновесия напряжения на зажимах якоря двигателя в режиме холостого хода имеет вид

- $U=E$
- $U=IR$
- $E=IR$
- $U= -IR+E$

2. Выражение ЭДС вращения ДПТНВ имеет вид

- 
- $EI$
- 
- $k\Phi I$

3. Уравнение равновесия напряжения на зажимах якоря двигателя в режиме рекуперативного торможения имеет вид

- $U=E$
- $U=IR$
- $E=IR$
- $U= -IR+E$

4. Жесткость механической характеристики двигателя независимого возбуждения при уменьшении входного напряжения якорной цепи

- уменьшится
- возрастет
- останется неизменной

5. При работе на характеристике а

- $R_p > R_{я}$
- $R_p < R_{я}$
- $R_p = R_{я}$
- $R_p \leq R_{я}$

6. Уравнение механической характеристики ДПТНВ имеет выражение

- $M(R+R_1)/ k^2\Phi^2$
- $(U/k\Phi) - (MR/k^2\Phi^2)$
- $(U/k\Phi) - (IR/k\Phi)$
- $MR/ k^2\Phi^2$

7. Выражение тока короткого замыкания двигателя постоянного тока имеет вид

- 
- $EI$
- $U/R$
- $k\Phi I$

8. Пусковые сопротивления составляют

- $R_1=4 \text{ Ом}, R_2=4 \text{ Ом}$
- $R_1=4 \text{ Ом}, R_2=2 \text{ Ом}$
- $R_1=2 \text{ Ом}, R_2=4 \text{ Ом}$
- $R_1=2 \text{ Ом}, R_2=1 \text{ Ом}$

9. Выражение уравнение электромеханической характеристики ДПТНВ имеет вид

- $M(R+R_1)/k_2\Phi^2$
- $(U/k\Phi) - (MR/k_2\Phi^2)$
- $(U/k\Phi) - (IR/k\Phi)$
- $MR/k_2\Phi^2$

10. Уравнение равновесия напряжения на зажимах якоря двигателя в режиме холостого хода имеет вид

- $U=E$
- $U=IR$
- $E=IR$
- $U= -IR+E$

11. Выражение ЭДС вращения ДПТНВ имеет вид

- $- M \cdot \omega$
- $EI$
- $k \cdot \Phi \cdot \omega$
- $k\Phi I$

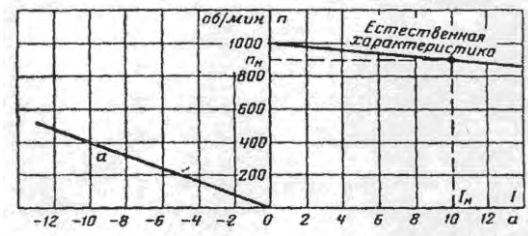
12. Уравнение равновесия напряжения на зажимах якоря двигателя в режиме рекуперативного торможения имеет вид

- $U=E$
- $U=IR$
- $E=IR$
- $U= -IR+E$

13. Жесткость механической характеристики двигателя независимого возбуждения при уменьшении входного напряжения якорной цепи

- уменьшится
- возрастет
- останется неизменной

14. При работе на характеристике  $a$



- $R_p > R_{я}$
- $R_p < R_{я}$
- $R_p = R_{я}$
- $R_p \leq R_{я}$

15. Уравнение механической характеристики ДПТ<sub>НВ</sub> имеет выражение

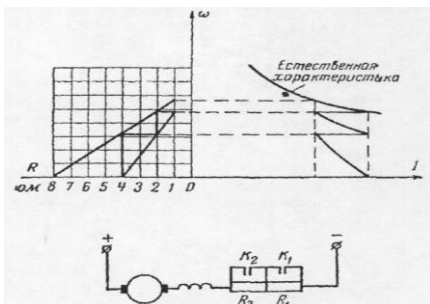
- $M(R+R_1)/k^2\Phi^2$
- $(U/k\Phi) - (MR/k^2\Phi^2)$
- $(U/k\Phi) - (IR/k\Phi)$
- $MR/k^2\Phi^2$

16. Выражение механической мощности имеет вид

- $M \cdot \omega$
- $EI$
- $k \cdot \Phi \cdot \omega$
- $k\Phi I$

17. При регулировании скорости изменением числа пар полюсов двухскоростного асинхронного двигателя из приведенных соотношений синхронных скоростей можно получить

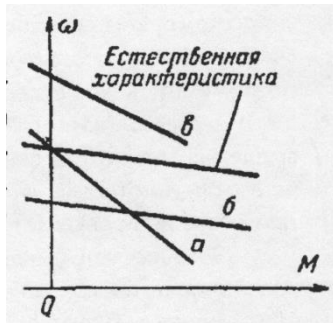
- $\omega'_0 = 0,90\omega_0$
- $\omega'_0 = 0,5\omega_0$
- $\omega'_0 = 0,3\omega_0$



18. Пусковые сопротивления составляет:

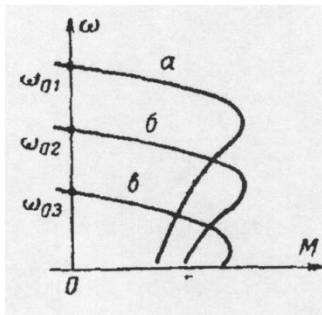
- $R_1=4 \text{ Ом}, R_2=4 \text{ Ом}$
- $R_1=4 \text{ Ом}, R_2=2 \text{ Ом}$
- $R_1=2 \text{ Ом}, R_2=4 \text{ Ом}$       $R_1=2 \text{ Ом}, R_2=1 \text{ Ом}$

19. Соответствие между способом регулирования скорости двигателя изменением напряжения, приложенного к якорю и характеристикой двигателя постоянного тока независимого возбуждения



- а
- б
- в

20. Соответствие между наибольшей частотой питающей сети при регулировании скорости короткозамкнутого асинхронного двигателя и характеристикой



- а
- б
- в

21. Критическое скольжение асинхронного двигателя

- не зависит от напряжения питания
- пропорционально напряжению питания
- пропорционально квадрату напряжения питания

22. При увеличении частоты питающего напряжения частота вращения магнитного поля статора

- увеличится
- уменьшится
- не изменится

23. Для увеличения максимального момента асинхронной машины в режиме пуска необходимо

- уменьшить сопротивление роторной цепи
- увеличить сопротивление роторной цепи
- уменьшить постоянный ток в цепи статора
- увеличить постоянный ток в цепи статора

24. Критический момент асинхронного двигателя при введении сопротивления в цепь ротора

- увеличится
- уменьшится
- не изменится

25. При уменьшении напряжения подводимого в цепь статора критический момент асинхронного двигателя

- увеличится
- уменьшится
- не изменится

Шкала оценивания:

Процент выполненных тестовых заданий	Количество набранных баллов
91% - 100%	5
81% - 90%	4
71% - 80%	3
61% - 70%	2
51% - 60%	1
<50%	0

## 5. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Методические указания размещены в СДО Moodle <http://moodle.nfygu.ru>

### Рейтинговый регламент по дисциплине:

Вид выполняемой учебной работы (контролирующие мероприятия)	Количество баллов (min)	Количество баллов (max)
Лабораторные занятия	3*4=12	5*4=20
Практические занятия	2*5=10	3*5=15

Расчетно-графическая работа	16	25
Тестирование	7	5*2=10
<b>Количество баллов для допуска к экзамену (min-max)</b>	<b>45</b>	<b>70</b>

**6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

6.1. Показатели, критерии и шкала оценивания

Коды оцениваемых компетенций	Индикаторы достижения компетенций	Показатель оценивания (по п.1.2.РПД)	Шкалы оценивания уровня сформированной компетенций/элементов компетенций		
			Уровни освоения	Критерии оценивания (дескрипторы)	Оценка
ПК-2: Способен проводить обоснование проектных решений.	ПК-2.1: Рассчитывает и проектирует технические объекты в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования. ПК-2.4: Техно-экономически обоснует принимаемые проектные решения.	<b>Знать:</b> Основы теории электропривода при решении задач проектирования; математические модели и программные комплексы для численного анализа физических процессов в электроприводе; современные схемы управления электроприводами. <b>Уметь:</b> использовать приближенные методы расчета и выбора основных элементов электрических приводов. <b>Владеть:</b> Навыками формулирования, постановки задач, и расчетов установившихся и переходных процессов в электроприводах; расчета мощности	Высокий	Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показана совокупность осознанных знаний по дисциплине, доказательно раскрыты основные положения вопросов; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Знание по предмету демонстрируется на фоне понимания его в системе данной науки и междисциплинарных связей. Ответ изложен полностью с использованием современной терминологии. Могут быть допущены недочеты в	Отлично
ПК-3: Способен применять методы и технические средства эксплуатационных испытаний и диагностики электроэнергетического и электротехнического оборудования.	ПК-3.1: Организует эксплуатацию электрооборудования на среднем и низком напряжении.				

<p>ПК-4: Готов к участию в выполнении ремонтов оборудования по заданной методике.</p>	<p>ПК-4.1: Проверяет техническое состояние и остаточный ресурс электроэнергетического и электротехнического оборудования, организует профилактические осмотры и текущий ремонт. ПК-4.2: Составляет инструкции по эксплуатации оборудования и программы испытаний.</p>	<p>электродвигателей для различных режимов работы; расчета энергетических показателей работы электропривода; навыками проведения лабораторных испытаний электрических приводов.</p>		<p>определении понятий, исправленные студентом самостоятельно в процессе ответа. В лабораторном задании может быть допущена 1 фактическая ошибка.</p>	
<p>ПК-5: Готов к составлению заявок на оборудование и запасные части и подготовке технической документации на ремонт.</p>	<p>ПК-5.1: Применяет и осваивает вводимое электроэнергетическое и электротехническое оборудование. ПК-5.2: Составляет заявки на оборудование и запасные части, подготавливает техническую документацию на ремонт.</p>		<p>Базовый</p>	<p>Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показано умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи. Ответ четко структурирован, логичен, изложен полностью с использованием современной терминологии. Могут быть допущены 2-3 неточности или незначительные ошибки, исправленные студентом с помощью преподавателя. В лабораторном задании могут быть допущены 2-3 фактические ошибки.</p>	<p>Хорошо</p>



			Минимальный	Дан недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. В ответе отсутствуют выводы. Умение раскрыть значение обобщенных знаний не показано. Речевое оформление требует поправок, коррекции. В лабораторном задании могут быть допущены 4-5 фактических ошибок.	Удовлетворительно.
--	--	--	-------------	--	--------------------

			Не освоены	<p>Ответ представляет собой разрозненные знания с существенными ошибками по вопросу.</p> <p>Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения.</p> <p>Студент не осознает связь обсуждаемого вопроса по билету с другими объектами дисциплины.</p> <p>Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная, терминология не используется.</p> <p>Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента. В лабораторном задании допущено более 5 фактических ошибок.</p> <p><i>или</i> Ответ на вопрос полностью отсутствует</p> <p><i>или</i> Отказ от ответа.</p>	Неудовлетворительно.
--	--	--	------------	--	----------------------

## 6.2. Примерные контрольные задания (вопросы) для промежуточной аттестации

Программа экзамена включает в себя 2 теоретических вопроса по всем разделам курса, направленных на оценку уровня знаний о сущности происходящих в электрических приводах процессов преобразования энергии и о влиянии требований рабочих машин и технологий на выбор типа и структуры электропривода, и 1 практическое задание на выполнение простейших расчетов по определению основных параметров и характеристик электроприводов.

*Перечень экзаменационных вопросов:*

1. Понятие «Электропривод». Назначение, функции, структура. Роль электропривода в развитии народного хозяйства. Классификация электроприводов.
2. Силы и моменты, действующие в электроприводе.
3. Приведение моментов сопротивления и маховых моментов.
4. Приведение сил и маховых моментов при поступательном движении и к вращательному.
5. Уравнения движения электропривода при вращательном движении. Уравнения движения электропривода при поступательном движении.
6. Классификация рабочих машин по характеру изменения статического момента.
7. Момент инерции тела и методы его определения. Метод крутильных колебаний. Метод маятниковых колебаний. Метод падающего груза. Метод свободного выбега.
8. Выбор передаточного числа между двигателем и исполнительным механизмом.
9. Естественные электромеханическая и механическая характеристики ДПТ н.в. и различные формы ее записи.
10. Искусственные механические и электромеханические характеристики ДПТ н.в. при изменении питающего напряжения.
11. Искусственные механические и электромеханические характеристики ДПТ н.в. при изменении сопротивления цепи якоря.
12. Искусственные механические и электромеханические характеристики ДПТ н.в. при изменении потока возбуждения.
13. Тормозной режим ДПТ н.в. – рекуперативное торможение. Способы получения. Энергетическая диаграмма. Направление напряжения, ЭДС и тока.
14. Тормозной режим ДПТ н.в. – противовключением под действием активного момента. Способы получения. Энергетическая диаграмма. Направление напряжения, ЭДС и тока.
15. Тормозной режим ДПТ н.в. – при динамическом торможении. Способы получения. Энергетическая диаграмма. Направление напряжения, ЭДС и тока. Граничные энергетические режимы.
16. Естественные механические и электромеханические характеристики ДПТ п.в.
17. Построение естественных механических и электромеханических характеристик ДПТ п.в.
18. Построение искусственных механических и электромеханических характеристик ДПТ п.в.
19. Тормозной режим ДПТ п.в. – противовключением: под действием активного момента и смены полярности питающего напряжения.
20. Тормозной режим ДПТ н.в. – при динамическом торможении. Направление токов и ЭДС.
21. Естественные механические и электромеханические характеристики ДПТ с.в.
22. Тормозной режим ДПТ с.в. – рекуперативное торможение. Энергетическая диаграмма. Направление напряжения, ЭДС и тока.
23. Тормозной режим ДПТ с.в. – противовключением: под действием активного момента.
24. Тормозной режим ДПТ с.в. – при динамическом торможении. Направление напряжения, ЭДС и тока. Граничные энергетические режимы.
25. Асинхронный двигатель. Электромагнитные процессы.
26. Асинхронный двигатель. Схемы замещения.
27. Асинхронный двигатель. Механическая характеристика и ее параметры. Упрощенные соотношения.
28. Построение естественной механической характеристики АД.
29. Электромеханические характеристики АД.

30. Тормозные режимы АД – рекуперативного торможения.
31. Тормозные режимы АД – противовключением: под действием активного момента и изменения последовательности чередования фаз.
32. Тормозные режимы АД – при динамическом торможении с независимым возбуждением при питании от источника напряжения.
33. Тормозные режимы АД – при динамическом торможении с самовозбуждением.
34. Синхронный двигатель. Электромагнитные процессы при пуске. Механическая характеристика
35. Синхронный двигатель. Угловая характеристика. Явнополюсные и неявнополюсные СД.
36. Синхронный двигатель. Схемы пуска. Способы торможения. Основные показатели способов регулирования координат электропривода: направление регулирования, плавность, стабильность поддержания скорости, статизм, диапазон регулирования, быстрдействие, переуправление и т.д.
37. Регулирование угловой скорости ДПТ н.в. по системе генератор-двигатель.
38. Регулирование угловой скорости ДПТ н.в. по системе тиристорный преобразователь -
39. двигатель.
40. Регулирования угловой скорости АД введением сопротивления в цепь ротора.
41. Регулирования угловой скорости АД переключением пар полюсов.
42. Регулирования угловой скорости АД изменением частоты.
43. Отличия в регулировании угловой скорости АД с кз ротором и фазным ротором.
44. Каскадные схемы регулирования скорости АД.

*Практическое задание к экзаменационному билету:*

### Задача 1:

Определите приведенные к валу двигателя момент статической нагрузки  $M_C$  и момент инерции  $J$  (рис.1).

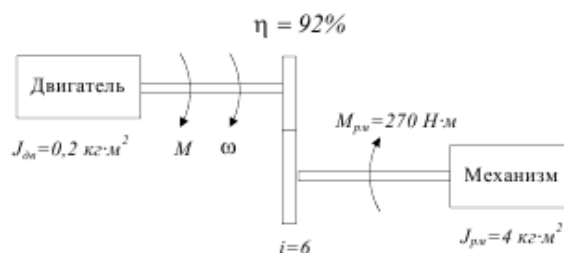


Рисунок 1

**Задача 2:** Рассчитать и построить естественные характеристики ДПТнв, используя следующие его паспортные данные:  $P_{ном} = 300 \text{ кВт}$ ;  $U_{ном} = 440 \text{ В}$ ;  $n_{ном} = 1250 \text{ об/мин}$ ;  $I_{ном} = 750 \text{ А}$ ,  $R_d = 0,01 \text{ Ом}$ . Рассчитать добавочное сопротивление при пуске и построить механическую характеристику при  $M_{п} = 2M_H$ .

**Задача 3:** Рассчитать и построить естественные характеристики ДПТнв, используя следующие его паспортные данные:  $P_{ном} = 300 \text{ кВт}$ ;  $U_{ном} = 440 \text{ В}$ ;  $n_{ном} = 1250 \text{ об/мин}$ ;  $I_{ном} = 750 \text{ А}$ ,  $R_d = 0,01 \text{ Ом}$ . Рассчитать добавочное сопротивление при динамическом торможении и построить механическую характеристику при  $M_T = 2M_H$ .

**Задача 4:** Рассчитать и построить естественные характеристики ДПТнв, используя следующие его паспортные данные:  $P_{ном} = 300 \text{ кВт}$ ;  $U_{ном} = 440 \text{ В}$ ;  $n_{ном} = 1250 \text{ об/мин}$ ;  $I_{ном} = 750$

А,  $R_d=0,01$  Ом. Рассчитать добавочное сопротивление при торможении противовключением и построить механическую характеристику при  $M_T=2M_H$ .

**Задача 5:** АД типа МТН-611-10 имеет следующие данные:  $P_{ном}=45$  кВт;  $U_{1ном}=380$  В;  $n_{ном}=575$  об/мин;  $f_1=50$  Гц;  $I_{1ном}=115$  А;  $R_c=0,087$  Ом;  $x_1=0,189$  Ом;  $R_p=0,12$  Ом;  $x_2=0,046$  Ом;  $I_{2ном}=155$  А  $k=1,93$ ;  $\lambda=M_K/M_{ном}=2,5$ . Рассчитать и построить естественную электромеханическую характеристику двигателя.

**Задача 6:** АД типа МТН-611-10 имеет следующие данные:  $P_{ном}=45$  кВт;  $U_{1ном}=380$  В;  $n_{ном}=575$  об/мин;  $f_1=50$  Гц;  $I_{1ном}=115$  А;  $R_c=0,087$  Ом;  $x_1=0,189$  Ом;  $R_p=0,12$  Ом;  $x_2=0,046$  Ом;  $I_{2ном}=155$  А  $k=1,93$ ;  $\lambda=M_K/M_{ном}=2,5$ . Рассчитать и построить естественную механическую характеристику двигателя.

**Задача 7:** ДПТ 2ПФ 200 имеет следующие паспортные данные:  $P_{ном}=30$  кВт;  $U_{ном}=440$  В;  $n_{ном}=2200$  об/мин;  $I_{ном}=74$  А,  $\eta_H=90\%$ . Оценить тепловой режим двигателя при его работе по следующему циклу: время первого участка  $t_1=12$  мин, момент нагрузки  $M_{C1}=120$  Нм, время второго участка  $t_2=25$  мин, момент нагрузки  $M_{C2}=145$  Нм, время третьего участка  $t_3=18$  мин, момент нагрузки  $M_{C3}=100$  Нм. Ток возбуждения и сопротивление якорной цепи не изменяются. Заданный цикл относится к продолжительному режиму работы с переменной нагрузкой.

**Задача 8:** АД краново-металлургической серии типа МТКВ 511-8 имеет номинальную мощность  $P_{ном}=17,5$  кВт при  $P_{Вном}=25\%$  и скорость;  $n_{ном}=700$  об/мин. Оценить нагрев двигателя, если он будет периодически включаться на 3 мин и преодолевать при этом момент нагрузки  $M_C=350$  Нм, после чего будет отключаться на 5 мин.

**Задача 9:** Определить значения скорости холостого хода и напряжения на статоре АД при

частоте 25 Гц и законе управления  $\frac{U_{1\phi}}{f_1^2} = const$ , если двигатель имеет следующие параметры:  $P_{ном}=1,4$  кВт;  $U_{1ном}=380$  В;  $n_{ном}=870$  об/мин;  $\lambda=M_K/M_{ном}=2,8$ . Построить (примерные) механические характеристики при разных частотах.

**Задача 10:** Определить значения скорости холостого хода и напряжения на статоре АД при

частоте 25 Гц и законе управления  $\frac{U_{1\phi}}{f_1} = const$ , если двигатель имеет следующие параметры:  $P_{ном}=1,4$  кВт;  $U_{1ном}=380$  В;  $n_{ном}=870$  об/мин;  $\lambda=M_K/M_{ном}=2,8$ . Построить (примерные) механические характеристики при разных частотах.

**Задача 11:** Определить значения скорости холостого хода и напряжения на статоре АД при

частоте 25 Гц и законе управления  $\frac{U_{1\phi}^2}{f_1} = const$ , если двигатель имеет следующие параметры:  $P_{ном}=1,4$  кВт;  $U_{1ном}=380$  В;  $n_{ном}=870$  об/мин;  $\lambda=M_K/M_{ном}=2,8$ . Построить (примерные) механические характеристики при разных частотах.

**Задача 12:** АД типа МТКН-211-6 имеет следующие данные:  $P_{ном}=8,2$  кВт;  $U_{1ном}=380$  В;  $n_{ном}=875$  об/мин;  $f_1=50$  Гц;  $I_{1ном}=115$  А;  $R_c=0,835$  Ом;  $x_1=0,88$  Ом;  $R_2'=1,4$  Ом;  $x_2'=0,88$ ;  $\lambda=M_K/M_{ном}=2,5$ ,  $\eta_H=0,715$ .  $\cos\phi_{ном}=0,75$ .

**Критерии оценки:**

<b>Характеристика выполнения практического задания</b>	<b>Количество набранных баллов</b>
Верное решение задачи.	10
Неверное решение задачи.	0
<b>Характеристика ответа на теоретические вопросы</b>	<b>Количество набранных баллов</b>
Поставленные вопросы раскрыты полностью, для пояснения приведены рисунки, схемы, графики, расчетные формулы, верно указаны единицы измерения; в ответе используется специальная терминология и показаны знания, освоенные студентом самостоятельно при изучении современных периодических изданий по дисциплине, ответ структурирован и логичен. Показана совокупность осознанных знаний по дисциплине с учетом междисциплинарных связей. Могут быть допущены недочеты в определении понятий, исправленные студентом самостоятельно в процессе ответа.	18-20
Поставленные вопросы раскрыты полностью, для пояснения приведены рисунки, схемы, графики, расчетные формулы, верно указаны единицы измерения; в ответе используется специальная терминология. Ответ структурирован и логичен. Могут быть допущены 2-3 незначительные ошибки, исправленные студентом с помощью преподавателя.	12-17
Дан недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент затрудняется привести поясняющие формулы, схемы, рисунки и графики, путает единицы измерения величин.	8-11
Ответ представляет собой разрозненные знания с существенными ошибками по вопросу. Студент не осознает связь обсуждаемых вопросов по билету с другими объектами дисциплины. В ответе отсутствуют поясняющие формулы, схемы, рисунки и графики, специальная терминология. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента. <i>Или</i> ответ на вопрос полностью отсутствует. <i>Или</i> отказ от ответа.	0

### 6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

<b>Характеристики процедуры</b>	
Вид процедуры	экзамен
Цель процедуры	выявить степень сформированной компетенции ПК-2.1, ПК-2.4; ПК-3.1; ПК-4.1, ПК-4.2; ПК-5.1, ПК-5.2.
Локальные акты вуза, регламентирующие проведение процедуры	Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся СВФУ, версия 3.0, утверждено ректором СВФУ 19.02.2019 г. Положение о балльно-рейтинговой системе в СВФУ, версия 4.0, утверждено 21.02.2018 г.
Субъекты, на которых направлена процедура	студенты 3 курса бакалавриата
Период проведения процедуры	Осенняя зачетная неделя
Требования к помещениям и материально-техническим средствам	Специально оборудованные помещения с лабораторными стендами, отвечающими требованиям освоения дисциплины в полном объеме.
Требования к банку оценочных средств	-
Описание проведения процедуры	Экзамен принимается в устной форме. Учитываются набранные баллы в течение семестра.
Шкалы оценивания результатов	Шкала оценивания результатов приведена в п. 6.1.РПД Рейтинговый регламент по дисциплине.
Результаты процедуры	В результате сдачи всех заданий для СРС студенту необходимо набрать 45 баллов, чтобы быть допущенным к экзамену.

**7. Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины (модуля)**

	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной литературы, вид и характеристика иных информационных ресурсов	Наличие грифа, вид грифа	Кол-во экземпляров в библиотеке СВФУ
Основная литература			
1	Епифанов А.П./ Электропривод. /Электронный ресурс/ А.П.Епифанов, Л.М. Малайчук, А.Г. Гуцинский - Электрон. дан. - СПб.: Лань, 2012. - 400 с.		<a href="http://www.e.lanbook.com/book/3812">http://www.e.lanbook.com/book/3812</a>
Дополнительная литература			
1	Электропривод производственных механисмов. Никитенко Г.В. Уч. Пособие Изд. Лань. 2013. 208 с. <a href="http://www.e.lanbook.com">http://www.e.lanbook.com</a>		
2	Онищенко Г.Б. Электрический привод Учеб для студентов вузов Москва: Академия. 2006, утверждено. 288 с.		
3	Епифанов А.П. Основы электропривода Учебное пособие Лань 2009 утверждено		
4	Кацман М.М. Электрический привод. Москва. Академия. 2005		
5	Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В. Электропривод: энерго-и ресурсосбережение Учебное пособие для студентов высших учебных заведений Москва: Академия 2008		
6	Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием Учебное пособие для студентов высших учебных заведений Москва: Академия 2007		
7	Системы управления электроприводов. Грехов В.П. Учеб. пособие. Изд. МГОУ, 2009г. 100 с.. <a href="http://www.knigafund.ru">www.knigafund.ru</a>		
8	Сборник задач и примеров решений по электрическому приводу. Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. Уч. Пособие .Изд. Лань, 2012 г. 368 с. <a href="http://www.e.lanbook.com">http://www.e.lanbook.com</a>		
9	Р.З. Хусаинов, А.В. Силантьев, А.В. Качалов. Методические указания к проведению лабораторных работ по дисциплине «Электрический привод». – Челябинск: Учтех-Профи, 2012.		
Методические разработки вуза			
1	Чепайкина Т.А. Методические указания к выполнению курсового проекта по курсу «Теория электропривода» Нерюнгри, ТИ (ф) ЯГУ, 2010		
2	Стефанов В.К. Методические указания по выполнению расчетно графических работ по дисциплине «Электрический привод» Нерюнгри, ТИ (ф) ЯГУ, 2009 г.		



## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее сеть-Интернет), необходимых для освоения дисциплины**

- Электрический привод - википедия <http://ru.wikipedia.org>
- Электрический привод - викизнание <https://www.wikiznanie.ru/>
- Школа для электрика (Образовательный сайт. Моя профессия-электрик) <http://www.electricalschool.info/maschiny>
- Школа для электрика (Справочник электрика) <http://www.electricalschool.info/spravochnik/>
- Курс по электротехнике и основам электронике. Ванюшин М.Б. <http://eleczon.ru>
- Справочник электрика и энергетика. <http://www.elecab.ru/history.shtml>
- Электронная электротехническая библиотека. <http://www.electrolibrary.info/history/>

## **9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

- модульная объектно-ориентированная динамическая учебная среда «Moodle».

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.**

### **10.1. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационные технологии:

- использование на занятиях электронных изданий (чтение лекций с использованием слайд-презентаций, электронного учебного пособия), видео- и аудиоматериалов (через Интернет);
- организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты и СДО Moodle.

### **10.2. Перечень программного обеспечения**

<https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/ui/software-ui/>

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Pf5qJ0nR14osbQB5j-M1DmAOONKbSw54FdLBWp5DMuA/view#gid=0>  
[MSWORD, MSPowerPoint.](#)

### **10.3. Перечень информационных справочных систем**

[https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/vspomogatelnye-podrazdeleniya/nauchnaya-biblioteka/page60.php?clear\\_cache=Y](https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/vspomogatelnye-podrazdeleniya/nauchnaya-biblioteka/page60.php?clear_cache=Y)

## ЛИСТ АКТУАЛИЗАЦИИ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.О.25 Электрический привод.

Учебный год	Внесенные изменения	Преподаватель (ФИО)	Протокол заседания выпускающей кафедры (дата, номер), ФИО зав. кафедрой, подпись

*В таблице указывается только характер изменений (например, изменение темы, списка источников по теме или темам, средств промежуточного контроля) с указанием пунктов рабочей программы. Само содержание изменений оформляется приложением по сквозной нумерации.*