

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Электропривода и электрического транспорта»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №8 от 19 мая 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ»

Направление: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Электрооборудование и автоматизация в промышленности и энергетике

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной
подписью
Составитель программы: Павлов Владимир
Евгеньевич
Дата подписания: 03.06.2025

Документ подписан простой электронной
подписью
Утвердил и согласовал: Арсентьев Олег
Васильевич
Дата подписания: 04.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Энергосберегающие технологии в электроустановках» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПКР-3 Способность к планированию, организации и ведению работ по эксплуатации объектов профессиональной деятельности	ПКР-3.2, ПКР-3.5

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКР-3.2	Способен определять возможности по плановому внедрению энергосберегающих мероприятий в электроустановках	Знать Знать - типовые энергосберегающие мероприятия при использовании электроприводов различных механизмов Уметь Уметь - рассчитывать мощность электропривода для различных механизмов Владеть Владеть - опытом оценки возможного энергосбережения
ПКР-3.5	Организует и ведёт самостоятельно или в коллективе отдельные виды работ по реализации энергосберегающих мероприятий в электроустановках	Знать Знать - способы управления режимами работы турбомеханизмов Уметь Уметь - по паспортным данным турбомеханизма и трубопроводной магистрали получить их напорные (Q-H) характеристики, использовать математические модели методов дросселирования и изменения частоты вращения электропривода при управлении производительностью турбомеханизмов Владеть Владеть - опытом оценки возможного энергосбережения.

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Энергосберегающие технологии в электроустановках» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Системы автоматического управления», «Промышленная электроника в электроустановках», «Силовая электроника», «Теоретические основы электротехники», «Электрические машины», «Электрический привод»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Микропроцессорные средства и системы», «Системы управления электро- и энергоустановками», «Частотно-регулируемый электропривод», «Электрическое

хозяйство и сети предприятий, организаций и учреждений», «Электрооборудование и автоматизация для нефтегазовой промышленности», «Электрооборудование и автоматизация лесоперерабатывающих предприятий», «Электрооборудование и автоматизация предприятий энергетики»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)		
	Всего	Семестр № 6	Семестр № 7
Общая трудоемкость дисциплины	108	36	72
Аудиторные занятия, в том числе:	64	32	32
лекции	16	16	0
лабораторные работы	16	0	16
практические/семинарские занятия	32	16	16
Контактная работа, в том числе	0	0	0
в форме работы в электронной информационной образовательной среде	0	0	0
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	44	4	40
Трудоемкость промежуточной аттестации	0	0	0
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет	Зачет	Зачет

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 6

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Общие сведения о потреблении энергоресурсов и энергосбережени и	1	2							Тест
2	Энергетика	2	4			1, 2	4			Тест

	электропривода									
3	Расчет мощности электропривода	3	4							Тест, Устный опрос
4	Методы и средства энергосбережения	4	4			3, 4	6	1	4	Тест
5	Энергосберегающий электропривод турбомеханизмов	5	2							Тест
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		16				10		4	

Семестр № 7

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Энергосберегающ ий ЭП турбомеханизмов			6, 7	4			3, 4	16	Тест
2	Энергетика электропривода									Тест
3	Технологии и средства энергосбережения							1, 2	24	Тест
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего				4				40	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 6

№	Тема	Краткое содержание
1	Общие сведения о потреблении энергоресурсов и энергосбережении	Общие сведения о потреблении энергоресурсов в мире, в нашей стране, темпы прироста потребления первичных энергоресурсов. Объемы производства и потребления электроэнергии. Первичные ресурсы для производства электроэнергии
2	Энергетика электропривода	Энергосбережение является наиболее дешевым и безопасным способом увеличения энергогенерирующих мощностей, так как затраты на экономию 1 кВт мощности обходятся в 4—5 раз дешевле, чем стоимость вновь вводимого 1 кВт мощности. Основные потери (до 90 %) приходятся на сферу энергопотребления, в которой должны быть сконцентрированы основные усилия по энергосбережению электроэнергии. Так как электроприводы потребляют до 70 % вырабатываемой электроэнергии, наиболее существенная экономия

		электроэнергии может быть достигнута при использовании регулируемых электроприводов для управления технологическими процессами, что в сочетании с возможностями автоматизации может обеспечить оптимальное использование электроэнергии и других ресурсов.
3	Расчет мощности электропривода	Правильный расчет требуемой мощности и выбор типа электродвигателя представляет собой важную и сложную задачу, имеющую большое практическое значение. От того, насколько правильно произведен расчет мощности электродвигателя зависят экономические и технологические показатели работы электропривода. Основным требованием при выборе электродвигателя является соответствие его мощности условиям технологического процесса. Двигатель должен быть выбран в строгом соответствии с ожидаемой нагрузкой производственного механизма и режимом его работы. Применение двигателя недостаточной мощности может привести к нарушению заданного технологического режима, снижению производительности рабочей машины. При недостаточной мощности двигателя увеличивается также его нагрев, что приводит к ускоренному старению изоляции и выхода двигателя из строя. Недопустимым является также использование двигателей завышенной мощности, так как при этом увеличиваются габариты электропривода, растут потери энергии за счет снижения КПД недогруженного двигателя, а для асинхронного электропривода снижается также коэффициент мощности, что увеличивает нагрузку преобразовательного устройства и распределительной сети.
4	Методы и средства энергосбережения	Одним из способов повышения энергетической эффективности и обеспечения энергосбережения на промышленных объектах, является использование энергоэффективных двигателей. Энергетические характеристики современного электропривода и уровень совместимости в значительной степени определяются структурой преобразователя частоты. Для повышения эффективности работы преобразователей частоты и электропривода в целом, можно выделить следующие способы:•- использование полупроводниковых ключей с низким сопротивлением в открытом состоянии для повышения коэффициента полезного действия;•- использование высокочастотных полупроводниковых ключей для снижения

		несинусоидальности напряжения и тока;•-использование активного выпрямителя для обеспечения коэффициента мощности электропривода;•-использование активных фильтров, для компенсации высших гармоник напряжения, генерируемых группой электроприводов, и повышения их коэффициента мощности.
5	Энергосберегающий электропривод турбомеханизмов	Наиболее характерными видами турбомеханизмов являются механизмы центробежного типа, предназначенные для транспортировки жидкости – насосы, газа – вентиляторы, сжатого воздуха – турбокомпрессоры. К механизмам этого же класса относятся осевые вентиляторы и насосы.Работу центробежных механизмов рассмотрим на примере центробежного насоса, который состоит из рабочего колеса с лопатками и корпуса спиральной формы. При вращении рабочего колеса жидкость увлекается лопатками и под действием центробежной силы и силы кориолиса движется от центра колеса к его периферии вдоль лопаток, затем подается через спиральную камеру в нагнетательную трубу. При этом в центре корпуса создается разрежение, под действием которого вода через всасывающую трубу подается в насос. Частицы жидкости участвуют в двух движениях: вращательном вместе с колесом, приобретая окружную скорость, и линейном вдоль лопаток, приобретая относительную линейную скорость.

Семестр № 7

№	Тема	Краткое содержание
1	Энергосберегающий ЭП турбомеханизмов	Движение жидкостей и газов в трубопроводах вызывается движением сил тяжести или сил давления, создаваемых за счет уровней в емкостях, но большей частью насосами, вентиляторами, компрессорами и другими механизмами, объединяемыми общим названием турбомеханизмы.Математической моделью потока жидкости в трубопроводе в статическом режиме называется зависимость расхода (производительности) трубопровода от управляющих и возмущающих воздействий и параметров трубопровода для установившегося режима. Под установившимся режимом в соответствии с терминологией теории математического управления следует понимать такое состояние, когда управления и возмущения, а также выходные переменные постоянны.
2	Энергетика	Большинство нерегулируемых электроприводов

	электропривода	работают со значительной недогрузкой, что приводит к большим потерям энергии и снижению коэффициента мощности. Широкое применение мощных силовых управляемых клапанов, преобразователей напряжения и частоты для регулируемого электропривода постоянного и переменного тока значительно обострили проблему обеспечения требуемого качества электроэнергии и в первую очередь таких как: коэффициент мощности, нелинейных искажений напряжения и тока, стабильность напряжения и др. Традиционное решение этой проблемы с помощью дорогостоящих пассивных фильтров является недостаточно эффективным из-за трудности настройки на фиксированную частоту.
3	Технологии и средства энергосбережения	В современном электроприводе переменного тока силовой преобразователь частоты в большинстве случаев выполняется в виде двухзвенного преобразователя с неуправляемым выпрямителем на входе и АИН с ШИМ. Это позволяет управлять частотой и амплитудой напряжения в одном инверторе и наиболее просто реализовать требуемые законы управления асинхронным электроприводом. Для обмена энергией между двигателем и сетью параллельно инвертору включается конденсатор. Однако такое построение силовой схемы преобразователя не позволяет реализовать рекуперацию энергии в сеть. Избыточная энергия генераторного торможения рассеивается в виде тепла на балластном сопротивлении, включённом параллельно ёмкости на входе инвертора, что приводит к большим потерям энергии в электроприводах с напряжёнными динамическими режимами и большими инерционными массами

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 7

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ В МНОГОСКОРОСТНОМ АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ	4
2	ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЬНО-МАШИННОГО КАСКАДА	2
3	ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННО- ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДА	2
4	ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ	2

5	ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОРЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ	2
6	ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО – РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ	2
7	ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО – РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА	2

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 6

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Рассчитать параметры модели центробежного насоса. Определить на моделях ток, скорость и момент асинхронного двигателя; проанализировать полученные результаты	2
2	Расчёт КПД трансформатора при изменении нагрузки	2
3	Определение активной и реактивной мощности АД, коэффициентов мощности и нагрузки при различных нагрузках на валу двигателя	2
4	Построение тахограммы движения и нагрузочных диаграмм механизма и привода подъёма башенного крана	4
5	Сравнение энергетической эффективности двух электротехнических комплексов с электроприводами	6

Семестр № 7

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Центробежный насос. Рассчитать и построить зависимость момента сопротивления на валу двигателя от его угловой скорости	4
2	Рассчитать номинальную мощность приводного асинхронного двигателя для насоса при регулировании напряжения цепи статора (система электропривода «тиристорный регулятор напряжения - асинхронный двигатель»); выбрать двигатель.	4
3	Рассчитать номинальную мощность приводного асинхронного двигателя для насоса при частотном регулировании скорости; выбрать двигатель	4
4	Рассчитать параметры модели центробежного насоса. Определить на моделях ток, скорость и	4

	момент асинхронного двигателя; проанализировать полученные результат	
--	---	--

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 6

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Подготовка к зачёту	4

Семестр № 7

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение тренировочных и обучающих тестов	10
2	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	14
3	Подготовка к зачёту	10
4	Подготовка к практическим занятиям	6

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: В ходе проведения лекций, практических и лабораторных работ используются следующие интерактивные методы обучения, указанные в таблице.

Таблица - Применяемые образовательные технологии Технологии Виды занятий

Лекции	Лаб. раб.	Практ./ Сем. зан.	СРС	Курсовой проект
Виртуальное моделирование		10		

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

. Энергосберегающий электропривод [Электронный ресурс] : методические указания для аудиторных занятий (практические занятия): направление 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника": профиль "Электропривод и автоматика": квалификация бакалавр / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, Ин-т энергетики, Каф. электропривода и электр. трансп., 2018. - 14 с. <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-14865.pdf>

5.1.2 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Энергосберегающий электропривод [Электронный ресурс] : методические указания для аудиторных занятий (лабораторные работы): направление 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника": профиль "Электропривод и автоматика": квалификация бакалавр / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, Ин-т энергетики, Каф. электропривода и электр. трансп., 2018. - 48 с. <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-14864.pdf>

5.1.3 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Энергосберегающий электропривод [Электронный ресурс] : методические указания по самостоятельной работе: направление 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника": профиль "Электропривод и автоматика": квалификация бакалавр / Иркут. нац. исслед.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 6 | Тест

Описание процедуры.

Тема 4. Анализ энергетических потерь в АД. Исследование характера изменения КПД асинхронного двигателя, питающегося от сети, при изменении нагрузки.

Лабораторная работа 1. Исследование потерь в многоскоростном асинхронном двигателе.

Описание процедуры:

- Проверка отчета по лабораторной работе.
- Устный опрос по теоретическому материалу работы.
- Анализ экспериментальных характеристик

Программа работы:

1. Ознакомиться с принципиальной схемой установки.
2. Выяснить назначение всех элементов модели.
3. Снять осциллограммы переходных процессов при ступенчатом пуске АД (модель АОДДДД).
4. Снять осциллограммы переходных процессов при прямом пуске АД на четвертую скорость (модель АО4Д).
5. Проанализировать полученные результаты; сделать выводы.

Вопросы для контроля:

1. Назначение элементов схемы, с помощью чего переключаются полюса?
2. Какие потери энергии будут в АД в переходных процессах и как их рассчитать?
3. Объяснить с помощью уравнений как рассчитать потери энергии в четырехскоростном АД при ступенчатом пуске, торможении и реверсе?
4. Тормозные режимы АД, как их получить по схеме?
5. Проанализировать полученные осциллограммы.

Тема 8. Оценка энергетических показателей преобразователей частоты (ПЧ).

Лабораторная работа 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО – РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Описание процедуры:

- Проверка отчета по лабораторной работе.
- Устный опрос по теоретическому материалу работы.
- Анализ экспериментальных характеристик

Программа работы:

1. Ознакомиться с лабораторным стендом.
2. Изучить руководство по эксплуатации преобразователя частоты «Danfoss FC – 202».
3. Включить преобразователь частоты «Danfoss FC – 202».
4. Произвести установку закона регулирования класса (по указанию преподавателя).
5. Аппроксимировать кривую настройки закона управления класса по точкам, установить тумблер S1 в положение «0».
6. Запустить АД на частоту 50Гц, исследовать возможности регулирования расхода насоса методом дросселирования с помощью запорных вентилей, измеряя при этом величины тока статора I_c, момента М и мощности Р1, потребляемых АД, а также напора Н и расхода Q насоса. Результаты измерений занести в таблицу 1 и 2.

Таблица 1

Положение

вентиля на всасе	1
(открыт)	2

.... п

Н, кг/см²

Н, м

Q, м³ / минQ, м³ / ч

IC, А

М, нм

P1, Вт

Таблица 2

Положение

вентиля на магистрале	1
(открыт)	2

.... п

Н, кг/см²

Н, м

Q, м³ / минQ, м³ / ч

IC, А

М, нм

P1, Вт

Установить тумблер S1 в положение «0», все запорные вентили должны быть открыты, запустить АД на частоту 50Гц, исследовать возможности частотного регулирования расхода, измеряя при этом величины тока статора IC, момента М и мощности P1, потребляемых АД, а также напора Н и расхода Q насоса. Результаты измерений занести в таблицу 3. По данным таблицы 3 построить регулировочные характеристики Н, Q = f(f_{ЗАД}). По данным таблиц 1, 2 и 3 построить следующие зависимости: IC = f(Q); М = f(Q); P1 = f(Q) в трех разных системах координат, сравнить полученные однофункциональные зависимости и сделать выводы.

Таблица 3

f _{ЗАД} , Гц	50	40	30	20
10				

Н, кг/см²

Н, м

Q, м³ / минQ, м³ / ч

IC, А

М, нм

P1, Вт

7. Установить тумблер S1 в положение «27» (замкнутая по расходу система) и запустить АД на частоту 30Гц, увеличивать сопротивление магистрали с помощью

запорных вентилях, измеряя при этом величины скорости ω , тока статора IC , момента M и мощности P_1 , потребляемых АД, а также напора H и расхода Q насоса. Результаты измерений занести в таблицу 4. По данным таблицы 4 построить следующие зависимости: $Q = f(IC)$; $Q = f(M)$; $Q = f(P_1)$; $Q = f(\omega)$ и сделать выводы. С помощью программы МСТ10 и компьютера осциллографировать переходные процессы по скорости АД $\omega(t)$ и расходу вентилятора $Q(t)$.

Таблица 3

Положение

вентиля на магистрали 1

(открыт) 2 3

.... п

H , кг/см²

H , м

Q , м³ / мин

Q , м³ / ч

IC , А

M , нм

P_1 , Вт

Вопросы для контроля:

1. Пояснить рис.1 и 2.
2. Назначение элементов на рис. 4, 5, 6..
3. Объяснить все полученные графики и осциллограммы
4. Сравнить возможности регулирования расхода насоса методами дросселирования и частотного регулирования.

Тема 9. Математические модели расходов потоков жидкостей и газов в трубопроводных магистралях.

Лабораторная работа 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОРЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Описание процедуры:

- Проверка отчета по лабораторной работе.
- Устный опрос по теоретическому материалу работы.
- Анализ экспериментальных характеристик

Программа работы:

1. Изучить математическую модель системы «ПЧ — АД — насос» (рис.2).
2. Осциллографировать с помощью виртуальных приборов переходные процессы по частоте питающего напряжения, амплитуде напряжения и тока; по скорости, току и моменту АД; напору, расходу и КПД насоса; моменту сил сопротивления МС и мощности нагрузки на валу двигателя РС; активную РАК и реактивную QР мощность электропривода; КПД $\eta_{ЭП}$ и коэффициент мощности $\cos\phi$ электропривода при различных напряжениях задания $U_{3C} = 1; 0,9; 0,8; 0,7; \dots; \min B$ (минимальное значение задания должно обеспечивать устойчивую работу электропривода и насоса).
3. Полученные осциллограммы использовать для заполнения таблицы 1, в которую необходимо занести установившиеся значения указанных параметров. Для нахождения действующих значений напряжения и тока статора АД необходимо амплитудные значения этих величин (на графиках) разделить на .

Таблица1

U_{3C} , В 1 0,9 0,8 0,7 min

f , гц

ω , 1/с
U, В
I, А
Q, м³/ч
Н, м
 $\eta_{\text{НАС}}$, о.е.
МС, нм
РС, Вт
РАК, Вт
QР, Вр
 $\eta_{\text{ЭП}}$, о.е.
 $\cos\varphi$, о.е.

На основании таблицы 1 построить следующие зависимости: ω , $U = f(f)$; Q , H , $\eta_{\text{НАС}} = f(\omega)$; ω , M , I , $P_c = f(MC)$; PAK , Q_R , $\eta_{\text{ЭП}}$, $\cos\varphi = f(MC)$.

Вопросы для контроля:

- Какими уравнениями описывается модель . насоса?
- Как изменить закон управления ПЧ?
- Объяснить все полученные графики и осциллограммы
- Сравнить возможности регулирования расхода насоса методами дросселирования и частотного регулирования.

Критерии оценивания.

Зачтено: полный и правильно оформленный отчет о лабораторной работе, правильные ответы на не менее чем 60% вопросов для контроля.

Не зачтено: неполный и/или неправильно оформленный отчет о лабораторной работе, правильные ответы на менее чем 60% вопросов для контроля

6.1.2 семестр 6 | Устный опрос

Описание процедуры.

Тема 11. Сравнительная оценка энергетических затрат двух способов управления производительностью турбомеханизмов при отсутствии статического напора.

Задача № 1 Центробежный насос

Для центробежного насоса необходимо:

1. Рассчитать и построить зависимость момента сопротивления на валу двигателя от его угловой скорости.
2. Определить диапазон регулирования угловой скорости, обеспечивающий заданное снижение подачи.
3. Рассчитать номинальную мощность приводного асинхронного двигателя для насоса при регулировании напряжения цепи статора (система электропривода «тиристорный регулятор напряжения асинхронный двигатель»); выбрать двигатель.
4. Рассчитать номинальную мощность приводного асинхронного двигателя для насоса при частотном регулировании скорости; выбрать двигатель.

Вопросы для контроля:

1. Что такое напор и расход центробежного насоса?
2. Как рассчитать напор и расход центробежного насоса?
3. Как рассчитать полезную мощность насоса?
4. Как определить момент сил сопротивления на валу двигателя насоса?
5. Как рассчитать номинальную мощность приводного асинхронного двигателя для

насоса при регулировании напряжения цепи статора (система электропривода «тиристорный регулятор напряжения асинхронный двигатель»)?

6. От чего зависит коэффициент запаса при выборе мощности приводного асинхронного двигателя в системе ТРН-АД?

7. Как рассчитать номинальную мощность приводного асинхронного двигателя для насоса при частотном регулировании скорости?

Критерии оценивания.

Зачтено: полный и правильно оформленный отчет о решении задачи, правильные ответы на не менее чем 60% вопросов для контроля.

Не зачтено: неполный и/или неправильно оформленный отчет о решении задачи, правильные ответы на менее чем 60% вопросов для контроля

6.1.3 семестр 7 | Тест

Описание процедуры.

Тема 4. Анализ энергетических потерь в АД. Исследование характера изменения КПД асинхронного двигателя, питающегося от сети, при изменении нагрузки.

Лабораторная работа 1. Исследование потерь в многоскоростном асинхронном двигателе.

Описание процедуры:

- Проверка отчета по лабораторной работе.
- Устный опрос по теоретическому материалу работы.
- Анализ экспериментальных характеристик

Программа работы:

1. Ознакомиться с принципиальной схемой установки.
2. Выяснить назначение всех элементов модели.
3. Снять осциллограммы переходных процессов при ступенчатом пуске АД (модель АОДДДД).
4. Снять осциллограммы переходных процессов при прямом пуске АД на четвертую скорость (модель АО4Д).
5. Проанализировать полученные результаты; сделать выводы.

Вопросы для контроля:

1. Назначение элементов схемы, с помощью чего переключаются полюса?
2. Какие потери энергии будут в АД в переходных процессах и как их рассчитать?
3. Объяснить с помощью уравнений как рассчитать потери энергии в четырехскоростном АД при ступенчатом пуске, торможении и реверсе?
4. Тормозные режимы АД, как их получить по схеме?
5. Проанализировать полученные осциллограммы.

Тема 8. Оценка энергетических показателей преобразователей частоты (ПЧ).

Лабораторная работа 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО – РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Описание процедуры:

- Проверка отчета по лабораторной работе.
- Устный опрос по теоретическому материалу работы.
- Анализ экспериментальных характеристик

Программа работы:

1. Ознакомиться с лабораторным стендом.
2. Изучить руководство по эксплуатации преобразователя частоты «Danfoss FC – 202».

3. Включить преобразователь частоты «Danfoss FC – 202».
4. Произвести установку закона регулирования класса (по указанию преподавателя).
5. Аппроксимировать кривую настройки закона управления класса по точкам, установить тумблер S1 в положение «0» .
6. Запустить АД на частоту 50Гц, исследовать возможности регулирования расхода насоса методом дросселирования с помощью запорных вентилей, измеряя при этом величины тока статора IC, момента М и мощности Р1, потребляемых АД , а также напора Н и расхода Q насоса. Результаты измерений занести в таблицу 1 и 2.

Таблица 1

Положение

вентили на всасе 1

(открыт) 2 3

.... п

Н, кг/см²

Н, м

Q, м³ / мин

Q, м³ / ч

IC, А

М, нм

Р1, Вт

Таблица 2

Положение

вентили на магистрале 1

(открыт) 2 3

.... п

Н, кг/см²

Н, м

Q, м³ / мин

Q, м³ / ч

IC, А

М, нм

Р1, Вт

Установить тумблер S1 в положение «0», все запорные вентили должны быть открыты, запустить АД на частоту 50Гц, исследовать возможности частотного регулирования расхода, измеряя при этом величины тока статора IC, момента М и мощности Р1, потребляемых АД, а также напора Н и расхода Q насоса. Результаты измерений занести в таблицу 3. По данным таблицы 3 построить регулировочные характеристики $H, Q = f(f_{\text{АД}})$. По данным таблиц 1, 2 и 3 построить следующие зависимости: $IC = f(Q)$; $M = f(Q)$; $P1 = f(Q)$ в трех разных системах координат, сравнить полученные однофункциональные зависимости и сделать выводы.

Таблица 3

f_{АД}, Гц 50 40 30 20

10

Н, кг/см²

Н, м

Q , мЗ / мин
 Q , мЗ / ч
 I_C , А
 M , нм
 P_1 , Вт

7. Установить тумблер S1 в положение «27» (замкнутая по расходу система) и запустить АД на частоту 30Гц, увеличивать сопротивление магистрали с помощью запорных вентилей, измеряя при этом величины скорости ω , тока статора I_C , момента M и мощности P_1 , потребляемых АД, а также напора H и расхода Q насоса. Результаты измерений занести в таблицу 4. По данным таблицы 4 построить следующие зависимости: $Q = f(I_C)$; $Q = f(M)$; $Q = f(P_1)$; $Q = f(\omega)$ и сделать выводы. С помощью программы МСТ10 и компьютера осциллографировать переходные процессы по скорости АД $\omega(t)$ и расходу вентилятора $Q(t)$.

Таблица 3

Положение

вентилей на магистрали 1

(открыт) 2 3

.... n

H , кг/см²

H , м

Q , мЗ / мин

Q , мЗ / ч

I_C , А

M , нм

P_1 , Вт

Вопросы для контроля:

1. Пояснить рис.1 и 2.
2. Назначение элементов на рис. 4, 5, 6..
3. Объяснить все полученные графики и осциллограммы
4. Сравнить возможности регулирования расхода насоса методами дросселирования и частотного регулирования.

Тема 9. Математические модели расходов потоков жидкостей и газов в трубопроводных магистралях.

Лабораторная работа 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОРЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Описание процедуры:

- Проверка отчета по лабораторной работе.
- Устный опрос по теоретическому материалу работы.
- Анализ экспериментальных характеристик

Программа работы:

1. Изучить математическую модель системы «ПЧ — АД — насос» (рис.2).
2. Осциллографировать с помощью виртуальных приборов переходные процессы по частоте питающего напряжения, амплитуде напряжения и тока; по скорости, току и моменту АД; напору, расходу и КПД насоса; моменту сил сопротивления МС и мощности нагрузки на валу двигателя РС; активную РАК и реактивную QR мощность электропривода; КПД $\eta_{ЭП}$ и коэффициент мощности $\cos\phi$ электропривода при различных напряжениях задания $U_{ЗС} = 1; 0,9; 0,8; 0,7; \dots; \min B$ (минимальное значение задания должно обеспечивать устойчивую работу электропривода и насоса).

3. Полученные осциллограммы использовать для заполнения таблицы 1, в которую необходимо занести установившееся значения указанных параметров. Для нахождения действующих значений напряжения и тока статора АД необходимо амплитудные значения этих величин (на графиках) разделить на .

Таблица1

UЗС, В 1 0,9 0,8 0,7 min

f, гц

ω , 1/с

U, В

I, А

Q, мЗ/ч

H, м

$\eta_{НАС}$, о.е.

МС, нм

РС, Вт

РАК,Вт

QР, Вр

$\eta_{ЭП}$,о.е.

cos ϕ , о.е.

На основании таблицы 1 построить следующие зависимости: ω , U = f(f); Q, H, $\eta_{НАС}$ = f(ω); ω , M, I, Pс = f (МС); РАК, QР, $\eta_{ЭП}$, cos ϕ = f(МС).

Вопросы для контроля:

- Какими уравнениями описывается модель . насоса?
- Как изменить закон управления ПЧ?
- Объяснить все полученные графики и осциллограммы
- Сравнить возможности регулирования расхода насоса методами дросселирования и частотного регулирования.

Критерии оценивания.

Зачтено: полный и правильно оформленный отчет о лабораторной работе, правильные ответы на не менее чем 60% вопросов для контроля.

Не зачтено: неполный и/или неправильно оформленный отчет о лабораторной работе, правильные ответы на менее чем 60% вопросов для контроля

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПКР-3.2	Способен определять возможности по плановому внедрению энергосберегающих мероприятий	Устное собеседование по теоретическим вопросам и/или тестирование.

		Выполнение практического задания.
ПКР-3.5	Организует и ведёт самостоятельно или в коллективе отдельные виды работ по реализации энергосберегающих мероприятий в электроприводе	Устное собеседование по теоретическим вопросам и/или тестирование. Выполнение практического задания.

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 6, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Зачёты проводятся в форме тестирования и устного опроса по билетам, которые включают вопросы по теоретической части дисциплины

Пример задания:

ВАРИАНТ 1

Знать особенности различных типов технологического процесса

1. . Какие из перечисленных двигателей применяются в электроприводе конвейеров в качестве приводных:

- A) асинхронные
- B) синхронные
- C) двигатели постоянного тока
- D) все двигатели
- E) пункты (A) и (B)

2. Динамические нагрузки электроприводов лебедок возникают при:

- A) торможении
- B) пуске
- C) установившемся режиме работы
- D) реверсировании
- E) пункты (A), (B) и (D)

3. От чего зависит мощность приводного двигателя экскаватора:

- A) от условий окружающей среды
- B) от требований к скорости двигателя
- C) от емкости ковша
- D) от всего перечисленного
- E) пункты (A) и (B)

4. При использовании двухконцевых подъемных лебедок вместо одноконцевых производительность установки:

- A) не изменяется
- B) уменьшается вдвое
- C) увеличивается вдвое
- D) увеличивается в 4 раза

Е) уменьшается в 1,5 раза

5. Полезная мощность насоса:

А)

В)

С)

Д)

Е)

Уметь определять требуемые режимы технологического процесса..

6. Какой способ регулирования производительности турбомеханизмов потребует наименьших первоначальных затрат?

А) регулирование частоты вращения с применением системы ПЧ-АД

В) метод дросселирования

С) регулирование частоты вращения с применением системы ТРН-АД

7. В формуле для определения требуемой мощности на валу вентилятора величина H - это:

А) подача вентилятора

В) угловая скорость

С) напор вентилятора

Д) работа, совершенная вентилятором за цикл

Е) плотность газа

8. Какой из перечисленных коэффициентов, характеризует годовое использование механического и электрического оборудования кранов:

А)

В)

С)

Д)

Е)

Владеть навыком классификации параметров технологического процесса.

9. К какой группе по характеру нагрузки на электропривод относятся механизмы конвейеров?

а) Механизмы непрерывного действия с постоянной нагрузкой

б) Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от скорости

с) Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от времени

д) Механизмы циклического действия с активной нагрузкой

е) Механизмы циклического действия с реактивной нагрузкой

10. К какой группе по характеру нагрузки на электропривод относятся механизмы насосов?

ф) Механизмы непрерывного действия с постоянной нагрузкой

г) Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от скорости

h) Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от времени

і) Механизмы циклического действия с активной нагрузкой

а) Механизмы циклического действия с реактивной нагрузкой

ВАРИАНТ 2

Знать особенности различных типов технологического процесса

1. . Какие из перечисленных двигателей применяются в электроприводе конвейеров в качестве приводных:

А) асинхронные

В) синхронные

С) двигатели постоянного тока

Д) все двигатели

Е) пункты (А) и (В)

2. Динамические нагрузки электроприводов лебедок возникают при:
 - A) торможении
 - B) пуске
 - C) установившемся режиме работы
 - D) реверсировании
 - E) пункты (A), (B) и (D)
3. По принципу работы подъемные или тяговые лебедки бывают:
 - A) одноконцевые
 - B) двухконцевые
 - C) барабанные
 - D) пункты (B) и (C)
 - E) пункты (A) и (B)
4. К какой группе машин по характеру технологического процесса относятся подъемные краны:
 - A) подъемно-транспортные машины
 - B) землеройные машины
 - C) машины для транспортировки жидких сред и газов
 - D) машины для сжатия газов
 - E) машины циклического действия
5. Что означает величина в формуле мощности приводного двигателя многокабинных подъемников :
 - A) коэффициент полезного действия всей установки
 - B) вес одной кабины
 - C) число неуравновешенных груженных кабин на поднимающейся ветви
 - D) скорость движения кабины
 - E) коэффициент полезного действия приводного двигателя

Уметь определять требуемые режимы технологического процесса..
6. Какой способ регулирования производительности турбомеханизма потребует завышения мощности приводного двигателя ?
 - A) регулирование частоты вращения с применением системы ПЧ-АД
 - B) метод дросселирования
 - C) регулирование частоты вращения с применением системы ТРН-АД
7. В формуле мощности на валу насоса величина Q – это:
 - A) коэффициент полезного действия насоса
 - B) ускорение свободного падения
 - C) подача насоса
 - D) плотность жидкости
 - E) напор насоса
8. Какой из перечисленных коэффициентов, характеризует суточное использование механического и электрического оборудования кранов:
 - A)
 - B)
 - C)
 - D)
 - E)

Владеть навыком классификации параметров технологического процесса.
9. К какой группе по характеру нагрузки на электропривод относятся механизмы лифтов?
 1. Механизмы непрерывного действия с постоянной нагрузкой
 2. Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от скорости
 3. Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от времени
 4. Механизмы циклического действия с активной нагрузкой

5. Механизмы циклического действия с реактивной нагрузкой
 10. К какой группе по характеру нагрузки на электропривод относятся механизмы вентиляторов?

1. Механизмы непрерывного действия с постоянной нагрузкой
2. Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от скорости
3. Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от времени
4. Механизмы циклического действия с активной нагрузкой

-

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Способен определять возможности по плановому внедрению энергосберегающих мероприятий	Не способен определять возможности по плановому внедрению энергосберегающих мероприятий

6.2.2.2 Семестр 7, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.2.1 Описание процедуры

Зачёты проводятся в форме тестирования и устного опроса по билетам, которые включают вопросы по теоретической части дисциплины

Пример задания:

ВАРИАНТ 1

Знать особенности различных типов технологического процесса

1. . Какие из перечисленных двигателей применяются в электроприводе конвейеров в качестве приводных:

- A) асинхронные
- B) синхронные
- C) двигатели постоянного тока
- D) все двигатели
- E) пункты (A) и (B)

2. Динамические нагрузки электроприводов лебедок возникают при:

- A) торможении
- B) пуске
- C) установившемся режиме работы
- D) реверсировании
- E) пункты (A), (B) и (D)

3. От чего зависит мощность приводного двигателя экскаватора:

- A) от условий окружающей среды
- B) от требований к скорости двигателя
- C) от емкости ковша
- D) от всего перечисленного
- E) пункты (A) и (B)

4. При использовании двухконцевых подъемных лебедок вместо одноконцевых производительность установки:

- A) не изменяется
- B) уменьшается вдвое

С) увеличивается вдвое

Д) увеличивается в 4 раза

Е) уменьшается в 1,5 раза

5. Полезная мощность насоса:

А)

В)

С)

Д)

Е)

Уметь определять требуемые режимы технологического процесса..

6. Какой способ регулирования производительности турбомеханизмов потребует наименьших первоначальных затрат?

А) регулирование частоты вращения с применением системы ПЧ-АД

В) метод дросселирования

С) регулирование частоты вращения с применением системы ТРН-АД

7. В формуле для определения требуемой мощности на валу вентилятора величина H - это:

А) подача вентилятора

В) угловая скорость

С) напор вентилятора

Д) работа, совершенная вентилятором за цикл

Е) плотность газа

8. Какой из перечисленных коэффициентов, характеризует годовое использование механического и электрического оборудования кранов:

А)

В)

С)

Д)

Е)

Владеть навыком классификации параметров технологического процесса.

9. К какой группе по характеру нагрузки на электропривод относятся механизмы конвейеров?

а) Механизмы непрерывного действия с постоянной нагрузкой

б) Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от скорости

с) Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от времени

д) Механизмы циклического действия с активной нагрузкой

е) Механизмы циклического действия с реактивной нагрузкой

10. К какой группе по характеру нагрузки на электропривод относятся механизмы насосов?

ф) Механизмы непрерывного действия с постоянной нагрузкой

г) Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от скорости

h) Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от времени

і) Механизмы циклического действия с активной нагрузкой

а) Механизмы циклического действия с реактивной нагрузкой

ВАРИАНТ 2

Знать особенности различных типов технологического процесса

1. . Какие из перечисленных двигателей применяются в электроприводе конвейеров в качестве приводных:

А) асинхронные

В) синхронные

С) двигатели постоянного тока

- D) все двигатели
 - E) пункты (A) и (B)
2. Динамические нагрузки электроприводов лебедок возникают при:
- A) торможении
 - B) пуске
 - C) установившемся режиме работы
 - D) реверсировании
 - E) пункты (A), (B) и (D)
3. По принципу работы подъемные или тяговые лебедки бывают:
- A) одноконцевые
 - B) двухконцевые
 - C) барабанные
 - D) пункты (B) и (C)
 - E) пункты (A) и (B)
4. К какой группе машин по характеру технологического процесса относятся подъемные краны:
- A) подъемно-транспортные машины
 - B) землеройные машины
 - C) машины для транспортировки жидких сред и газов
 - D) машины для сжатия газов
 - E) машины циклического действия
5. Что означает величина в формуле мощности приводного двигателя многокабинных подъемников :
- A) коэффициент полезного действия всей установки
 - B) вес одной кабины
 - C) число неуравновешенных груженых кабин на поднимающейся ветви
 - D) скорость движения кабины
 - E) коэффициент полезного действия приводного двигателя
- Уметь определять требуемые режимы технологического процесса..
6. Какой способ регулирования производительности турбомеханизма потребует завышения мощности приводного двигателя ?
- A) регулирование частоты вращения с применением системы ПЧ-АД
 - B) метод дросселирования
 - C) регулирование частоты вращения с применением системы ТРН-АД
7. В формуле мощности на валу насоса величина Q – это:
- A) коэффициент полезного действия насоса
 - B) ускорение свободного падения
 - C) подача насоса
 - D) плотность жидкости
 - E) напор насоса
8. Какой из перечисленных коэффициентов, характеризует суточное использование механического и электрического оборудования кранов:
- A)
 - B)
 - C)
 - D)
 - E)
- Владеть навыком классификации параметров технологического процесса.
9. К какой группе по характеру нагрузки на электропривод относятся механизмы лифтов?
- 1. Механизмы непрерывного действия с постоянной нагрузкой
 - 2. Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от скорости

3. Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от времени
4. Механизмы циклического действия с активной нагрузкой
5. Механизмы циклического действия с реактивной нагрузкой
10. К какой группе по характеру нагрузки на электропривод относятся механизмы вентиляторов?
1. Механизмы непрерывного действия с постоянной нагрузкой
2. Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от скорости
3. Механизмы непрерывного действия с нагрузкой зависящей от времени
4. Механизмы циклического действия с активной нагрузкой

-

6.2.2.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Способен определять возможности по плановому внедрению энергосберегающих мероприятий	Не способен определять возможности по плановому внедрению энергосберегающих мероприятий

7 Основная учебная литература

1. Гоппе Г. Г. Энергосберегающие технологии в электроприводе [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. Г. Гоппе, 2011. - 50.
2. Энергосберегающие технологии в электроприводе : методические указания по самостоятельной работе: направление 13.04.02 "Электроэнергетика и электротехника": программа "Компьютерные технологии в электроприводе": квалификация магистр / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2018. - 17.
3. Аполлонский. Энергосберегающие технологии в энергетике : учебник для вузов. Т. 1 : Энергосбережение в энергетике, 2022. - 436.
4. Аполлонский. Энергосберегающие технологии в энергетике : учебник для вузов. Т. 2 : Инновационные технологии энергосбережения и энергоменеджмент, 2022. - 320.
5. Энергосберегающие технологии в энергетике : учебник для вузов. Т. 1 : Энергосбережение в энергетике, 2023. - 436.
6. Аполлонский Энергосберегающие технологии в энергетике : учебник для вузов. Т. 1 : Энергосбережение в энергетике / С. М. Аполлонский, 2023. - 436.
7. Аполлонский Энергосберегающие технологии в энергетике : учебник для вузов. Т. 2 : Инновационные технологии энергосбережения и энергоменеджмент, 2023. - 320.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Лукина. Энергосберегающие технологии : практикум : в 2 ч. Ч. 2, 2022. - 117.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Свободно распространяемое программное обеспечение МАТЛАБ

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины