

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ"

Кафедра № 32

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель образовательной программы

доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)

О.Я. Солёная

(инициалы, фамилия)

(подпись)

«17» февраля 2025 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Моделирование и оптимизация в электроэнергетике»
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	13.03.02
Наименование направления подготовки/ специальности	Электроэнергетика и электротехника
Наименование направленности	Цифровая энергетика
Форма обучения	очная
Год приема	2025

Санкт-Петербург – 2025

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)


(подпись, дата)

В.П. Кузьменко

(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 32

«17» февраля 2025 г, протокол № 5

Заведующий кафедрой № 32

к.т.н., доц.

(уч. степень, звание)


(подпись, дата)


С.В. Солёный

(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института №3 по методической работе

Ст. прсп.

(должность, уч. степень, звание)


(подпись, дата)

Н.В. Решетникова

(инициалы, фамилия)

Аннотация

Дисциплина «Моделирование и оптимизация в электроэнергетике» входит в образовательную программу высшего образования – программу бакалавриата по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» направленности «Цифровая энергетика». Дисциплина реализуется кафедрой «№32».

Дисциплина не является обязательной при освоении обучающимся образовательной программы и направлена на углубленное формирование следующих компетенций:

ПК-2 «Способен участвовать в научных исследованиях объектов профессиональной деятельности»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с моделированием процессов и объектов электроэнергетике с целью обеспечения оптимизации рабочих процессов.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа обучающегося.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме дифференцированного зачета.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

Язык обучения по дисциплине «русский».

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Формирование у обучающихся профессиональных знаний и умений в соответствии с ФГОС ВО с учетом применения современных программных комплексов моделирования объектов и процессов в электроэнергетике, направленных на разработку оптимальных систем управления и функционирования сложных технических процессов в оборудовании и системах электроэнергетической отрасли. Дисциплина входит в состав части, формируемой участниками образовательных отношений, образовательной программы высшего образования.

1.2. Дисциплина является факультативной дисциплиной по направлению образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные компетенции	ПК-2 Способен участвовать в научных исследованиях объектов профессиональной деятельности	ПК-2.Д.3 обрабатывает результаты прикладных научных исследований

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- «Энергетическая электроника»,
- «Электрические системы и сети»,
- «Общая энергетика»

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и вспомогательное использование при прохождении производственной преддипломной практики и подготовке выпускной квалификационной работы, и изучении других дисциплин:

- «Математические методы исследования»,
- «Основы релейной защиты и автоматики»,
- «Электроснабжение».

3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам
		№6
1	2	3
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)	2/ 72	2/ 72
Из них часов практической подготовки	17	17
Аудиторные занятия, всего час.	34	34
в том числе:		
лекции (Л), (час)	17	17
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)		
лабораторные работы (ЛР), (час)	17	17
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)		
Самостоятельная работа, всего (час)	38	38
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.**)	Дифф. Зач.	Дифф. Зач.

Примечание: ** кандидатский экзамен

4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
Семестр 6					
Раздел 1. Введение в моделирование работы энергетических объектов и процессов. Тема 1.1. Способы моделирования работы энергетических объектов и процессов. Тема 1.2. Методы, применяемые в построении математических моделей. Тема 1.3. Программы динамического моделирования MatLab, SiminTech. Тема 1.4. Использование языков программирования в моделировании.	4		4		9
Раздел 2. Математические модели описания работы объектов и процессов электроэнергетики. Тема 2.1. Основные модели, применяемые в электроэнергетике. Тема 2.2. Построение математической модели работы энергетического объекта. Тема 2.3. Ключевые особенности и различия в описании работы энергетических процессов и объектов.	4		4		9

Раздел 3. Построение моделей энергетических объектов с использованием программ динамического моделирования и языков программирования. Тема 3.1. Построением моделей энергетических объектов и процессов в MatLab и SiminTech. Тема 3.2. Настройка построенной математической модели описания работы энергетических процессов в программах динамического моделирования. Тема 3.3. Использование языка программирования Python в моделировании электроэнергетических процессов.	4		4		10
Раздел 4. Оптимизация работы энергетических объектов или процессов на основе результатов моделирования. Тема 4.1. Основные способы оптимизации работы энергетических объектов или процессов. Тема 4.2. Зависимость технических и экономических параметров моделируемых процессов. Тема 4.3. Пример оптимизации работы энергетических объектов на основе стохастической модели.	5		5		10
Итого в семестре:	17		17		38
Итого	17	0	17	0	38

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
1	Раздел 1. Введение в моделирование работы энергетических объектов и процессов. Тема 1.1. Способы моделирования работы энергетических объектов и процессов. Тема 1.2. Методы, применяемые в построении математических моделей. Тема 1.3. Программы динамического моделирования MatLab, SiminTech. Тема 1.4. Использование языков программирования в моделировании.
2	Раздел 2. Математические модели описания работы объектов и процессов электроэнергетики. Тема 2.1. Основные модели, применяемые в электроэнергетике. Тема 2.2. Построение математической модели работы энергетического объекта. Тема 2.3. Ключевые особенности и различия в описании работы энергетических процессов и объектов.

3	<p>Раздел 3. Построение моделей энергетических объектов с использованием программ динамического моделирования и языков программирования.</p> <p>Тема 3.1. Построением моделей энергетических объектов и процессов в MatLab и SiminTech.</p> <p>Тема 3.2. Настройка построенной математической модели описания работы энергетических процессов в программах динамического моделирования.</p> <p>Тема 3.3. Использование языка программирования Python в моделировании электроэнергетических процессов.</p>
4	<p>Раздел 4. Оптимизация работы энергетических объектов или процессов на основе результатов моделирования.</p> <p>Тема 4.1. Основные способы оптимизации работы энергетических объектов или процессов.</p> <p>Тема 4.2. Зависимость технических и экономических параметров моделируемых процессов.</p> <p>Тема 4.3. Пример оптимизации работы энергетических объектов на основе стохастической модели.</p>

4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено					
Всего					

4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 6				
1	Исследование влияния номинального уровня напряжения на размер и стоимость электродвигателей	4		1
2	Топология схем и уровни напряжения	4		2
3	Анализ стоимости энергии для океанических и речных турбин	4		3
4	Анализ магнитного поля электрической машины	5		4
Всего		17		

4.5. Курсовое проектирование/ выполнение курсовой работы

Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 6, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	20	20
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	4	4
Домашнее задание (ДЗ)	10	10
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	4	4
Всего:	38	38

5. Перечень учебно-методического обеспечения

для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. 7-11.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий

Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.

Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр/ URL адрес	Библиографическая ссылка	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
	Моделирование режимов работы электроэнергетических систем: учебное пособие / И.А. Муратаев, Г.А. Муратаева, Д.А. Ярославский, Р.Г. Хузяшев, М.П. Горячев.-Казань: Изд-во отдел КГЭУ, 2019. – 94 с.	-
	Моделирование в электроэнергетике: учебное пособие / А.Ф. Шаталов, И.Н. Воротников, М.А. Мастепаненко, И.К. Шарипов, С.В. Аникуев. – Ставрополь: Изд-во АГРУС Став-кого аграрного ун-та, 2014. – 140 с.	-
	Математическое моделирование режимов работы электроэнергетических систем / В.Н. Константинов – Казань: Изд-во отдел	-

	КГЭУ 2014. – 148 с.	
	Исследование и моделирование электроэнергетических систем: Л.А. Влацкая, Н.Г. Семенова – Оренбург: Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург; 2018. – 40 с	-

7. Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
https://lib.guap.ru/jirbis2/index.php	Электронная библиотека ГУАП
https://driveconstructor.com/applications/wind	Электронный ресурс моделирования работы аппаратов

8. Перечень информационных технологий

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

8.2. Перечень информационно-справочных систем,используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Мультимедийная лекционная аудитория	31-04
2	Персональные компьютеры с предустановленным ПО SiminTech, Matlab, SmathStudio и доступом в интернет	31-04

10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Дифференцированный зачёт	Список вопросов; Тесты

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 – Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
«отлично» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал; – уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; – опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; – умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; – делает выводы и обобщения; – свободно владеет системой специализированных понятий.
«хорошо» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы; – не допускает существенных неточностей; – увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления; – аргументирует научные положения; – делает выводы и обобщения; – владеет системой специализированных понятий.
«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы; – допускает несущественные ошибки и неточности; – испытывает затруднения в практическом применении знаний направления; – слабо аргументирует научные положения; – затрудняется в формулировании выводов и обобщений; – частично владеет системой специализированных понятий.
«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся не усвоил значительной части программного материала; – допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении; – испытывает трудности в практическом применении знаний; – не может аргументировать научные положения; – не формулирует выводов и обобщений.

10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

Вопросы для дифф. зачета представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Вопросы для дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов для дифф. зачета	Код индикатора
1.	Что такое физическая и математическая модели, какова их связь в моделировании?	ПК-2.Д.3
2.	Какие основные методы моделирования используются в электроэнергетике, в чем их особенности?	
3.	Опишите процесс формирования модели электроэнергетического оборудования на примере электрической асинхронной машины.	
4.	Какие данные и параметры необходимы для моделирования электроэнергетических процессов?	
5.	Опишите в чем заключается задачи оптимизации работы моделей?	
6.	Какие методы оптимизации применяются для повышения эффективности работы энергетических объектов?	
7.	Как алгоритмы оптимизации помогают в управлении электроэнергетическими системами?	
8.	Как методы моделирования помогают в разработке оптимальных систем управления энергосистемами?	
9.	Какие методы моделирования применяются при описания переходных процессов, в чем их особенности?	
10.	Опишите зависимость между техническими и экономическими параметрами моделируемых процессов электроэнергетики.	
11.	Какие численные методы используются при построении математических моделей?	
12.	Какие уровни математических моделей существуют, в чем их особенности?	
13.	Какие ключевые параметры необходимы для построения модели трансформатора?	
14.	Что такое численные методы математического моделирования?	
15.	Опишите особенности применения языка программирования Python в моделировании процессов электроэнергетики.	
16.	В чем особенность моделей на микроуровне?	
17.	В чем особенность моделей на макроуровне?	
18.	В чем особенность моделей на метакуровне?	
19.	В чем заключается физический смысл параметров схемы замещения трансформатора?	
20.	Каким образом моделирование помогает прогнозировать нагрузку на электросети?	

Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
	<p>1 тип. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора</p> <p>Инструкция: Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа</p>	
	<p><u>Какая программа чаще всего используется для моделирования работы электроэнергетических систем?</u></p> <p>a) Microsoft Excel b) Adobe Photoshop c) MATLAB d) AutoCAD</p>	ПК-2.Д.3
	<p>2 тип. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора</p> <p>Инструкция: Прочитайте текст, выберите правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов</p>	
	<p><u>Какие факторы следует учитывать при моделировании энергетических сетей для оптимизации?</u></p> <p>a) Только текущую сезонную нагрузку на энергосистему b) Географическое расположение сети и климатические условия c) Старение оборудования и его техническое состояние d) Прогноз изменений в потреблении и тарифной структуре</p>	ПК-2.Д.3
	<p>3 тип. Задание закрытого типа на установление соответствия</p> <p>Инструкция: Прочитайте текст и установите соответствие. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию в правом столбце</p>	
	<p><u>Сопоставьте типы энергосистем с их характеристиками.</u></p> <p>1) Централизованные системы: 2) Децентрализованные системы: a) Высокая надежность, b) Гибкость, c) Высокие затраты на инфраструктуру, d) Локальное управление, e) Масштабируемость, f) Зависимость от центрального управления</p>	ПК-2.Д.3
	<p>4 тип. Задание закрытого типа на установление последовательности</p> <p>Инструкция: Прочитайте текст и установите последовательность. Запишите соответствующую последовательность букв слева направо</p>	

	<u>Составьте правильную последовательность этапов разработки модели энергосистемы:</u> a) Разработка модели b) Анализ данных c) Сбор данных d) Применение модели e) Валидация модели	ПК-2.Д.3
5 тип. Задание открытого типа с развернутым ответом Инструкция: Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ или напишите пропущенное слово/словосочетание		
	<u>Как влияет оптимизация электросетей на снижение затрат в электроэнергетике?</u>	ПК-2.Д.3

Примечание:

Задание 1 типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора:

Полное совпадение с верным ответом – 1 балл.

Неверный ответ или его отсутствие – 0 баллов.

Задание 2 типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора:

Полное совпадение с верным ответом 1 балл.

Отсутствие минимум одного правильно ответа или полное отсутствует ответа – 0 баллов.

Задание 3 типа на установление соответствия:

Полное совпадение с верным ответом - 1 балл.

Неверное сопоставление ответов или отсутствие ответа – 0 баллов.

Задание 4 типа на установление последовательности:

Полное правильное совпадение очередности ответов - 1 баллом

Нарушение правильного порядка ответов или отсутствие ответа – 0 баллов.

Задание 5 типа с развернутым ответом:

Правильный ответ за задание оценивается - 3 балла.

Если допущена одна ошибка \ неточность \ ответ правильный, но не полный - 1 балл.

Если допущено более 1 ошибки \ ответ неправильный \ ответ отсутствует – 0 баллов.

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
	Не предусмотрено

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру

проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала.

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Структура предоставления лекционного материала должна быть согласована и преподаваться в соответствии с таблицей 4.

11.2. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ.

В ходе выполнения лабораторных работ обучающийся должен углубить и закрепить знания, практические навыки, овладеть современной методикой и техникой эксперимента в соответствии с квалификационной характеристикой обучающегося. Выполнение лабораторных работ состоит из экспериментально-практической, расчетно-аналитической частей и контрольных мероприятий.

Выполнение лабораторных работ обучающимся является неотъемлемой частью изучения дисциплины, определяемой учебным планом, и относится к средствам, обеспечивающим решение следующих основных задач обучающегося:

- приобретение навыков исследования процессов, явлений и объектов, изучаемых в рамках данной дисциплины;

- закрепление, развитие и детализация теоретических знаний, полученных на лекциях;
- получение новой информации по изучаемой дисциплине;
- приобретение навыков самостоятельной работы с лабораторным оборудованием и приборами.

Задание и требования к проведению лабораторных работ

Лабораторная работа №1 Исследование влияния номинального уровня напряжения на размер и стоимость электродвигателей

Цель работы: произвести исследование влияния номинального уровня напряжения на размер и стоимость электродвигателей, работая с системой, состоящей из двигателя и преобразователя частоты.

Веб версия программы: <https://driveconstructor.com/>

Варианты параметров насоса:

1. напор 200 м, расход 85 л/с, КПД 85%, номинальная частота вращения 2950 об/мин;
2. напор 200 м, расход 145 л/с, КПД 85%, номинальная частота вращения 2950 об/мин;
3. напор 200 м, расход 200 л/с, КПД 85%, номинальная частота вращения 2950 об/мин.

1. Открыть веб версию программы для компьютерного моделирования и выбрать раздел «Насосы» (PUMP);
2. Составить в среде моделирования представленную заданием принципиальную схему;
3. Осуществить выбор типа схемы «центробежный», настроить параметры согласно варианту, заданному работой;
4. Выбрать тип двигателя SCIM, охлаждение на IC411, класс эффективности на IE3, защиту IP21;
5. Для каждого варианта спроектировать систему привода с учетом напряжения машины и преобразователя равному 400 В, затем увеличить до 690 В, 3300В и 6000 В.
6. После каждого эксперимента зафиксировать параметры мощности, веса и стоимости двигателя.
7. Произвести анализ полученных результатов.
8. Составить отчет и вывод о работе используя диаграммы и графики.

[!]Убедитесь, что тип машины, класс эффективности, охлаждение, класс защиты и другие параметры, за исключением напряжения и мощности, одинаковы для всех случаев

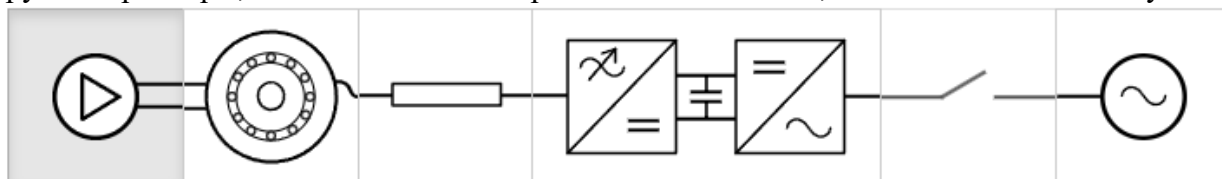


Рисунок 1. Принципиальная схема насоса

Type: centrifugal

Head, m: 200

Flow, l/s: 50

Rated speed, rpm: 1450

Minimal speed, rpm: 0

Rated efficiency, %: 81

Рисунок 2. Заданные параметры собранной принципиальной схемы

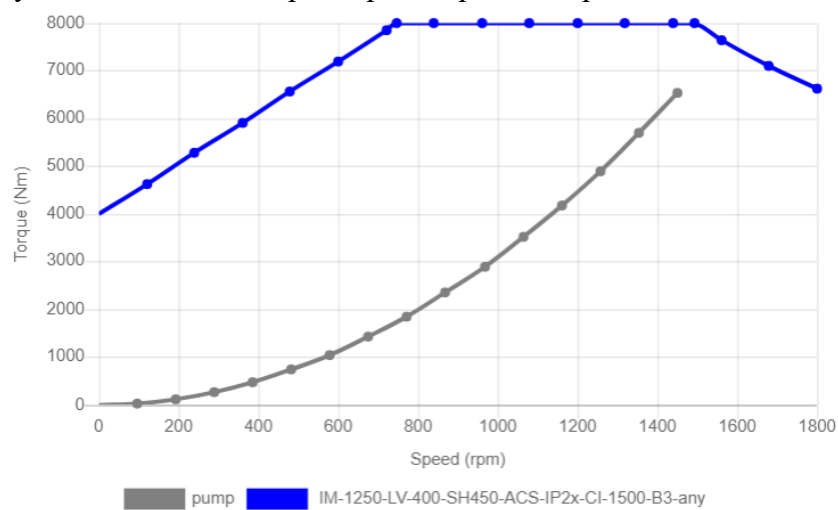


Рисунок 3. График зависимости скорости от крутящего момента

Система

Цена, EUR:	177711
Эффективность при номинальной нагрузке:	82.98
Эффективность при нагрузке 75%:	82.87
Эффективность при нагрузке 50%:	81.32
Эффективность при нагрузке 25%:	76.67
Объем, м3:	4.22
Занимаемая площадь, м2:	6.63
Масса, кг:	6777

Рисунок 4. Пример результатов моделирования работы спроектированной системы

Лабораторная работа №2 Топология схем и уровни напряжения

Цель работы: произвести решение задачи модернизации насосов с дроссельной заслонкой, приводимых в действие двигателями с прямым пуском, до систем с регулируемой скоростью с ПЧ и без дросселей.

Веб версия программы: <https://driveconstructor.com/>

Варианты параметров насоса:

1. напор 210 м, расход 200 л/с, КПД 85%, номинальная частота вращения 1450 об/мин, мощность 0,5 МВт;
2. напор 210 м, расход 400 л/с, КПД 85%, номинальная частота вращения 1450 об/мин, мощность 1 МВт;
3. напор 420 м, расход 400 л/с, КПД 85%, номинальная частота вращения 1450 об/мин, мощность 2 МВт;
4. напор 800 м, расход 500 л/с, КПД 85%, номинальная частота вращения 1450 об/мин, мощность 5 МВт.

1. Открыть веб версию программы для компьютерного моделирования и выбрать раздел «Трансмиссия с понижающим насосом» (Drive train with voltage step down);
2. Составить в среде моделирования представленную заданием принципиальную схему;
3. Осуществить выбор типа схемы «центробежный», настроить параметры согласно варианту, заданному работой;
4. Задать номинальную скорость равную 1500 об/мин, питание сети 6 кВ, расстояние между насосом и ПЧ 100 м;

5. Спроектировать заданную систему с учетом минимальных вложений финансовых средств;
6. Произвести оценку влияния уровня мощности на выбор уровня напряжения, учесть и описать влияние сечения кабеля;
7. Оценить общую эффективность системы при нагрузке в 50% для каждого варианта систем;
8. Оценить влияние схемы подключения «звезда» и «треугольник» на выбор ПЧ;
9. Произвести анализ полученных результатов.
10. Составить отчет и вывод о работе используя диаграммы и графики.

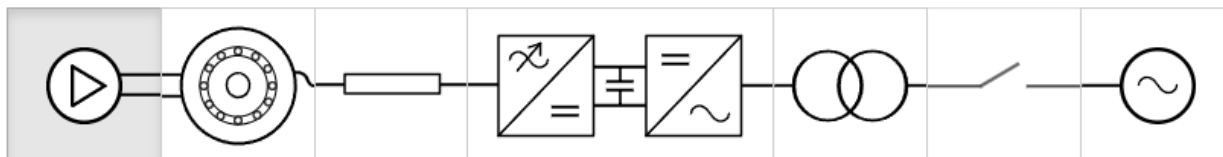


Рисунок 5. Принципиальная схема трансмиссии с понижающим насосом

Кабель

Длина:	30
Цена, EUR:	555
Материал проводника:	медь
Поперечное сечение фазного провода (мм ²):	70
Номинальное напряжение (кВ):	1
Количество запусков:	1
Потери, кВт:	0.5108
КПД, %:	99.61
Цена за метр:	18.5
Падение напряжения:	1.54
Реактивное сопротивление (PerHz):	0.004542
Сопротивление на метр:	0.000276
Обозначение:	CU-3x070-01kV

Преобразователь частоты

Тип:	2Q-2L-VSC-6p
Цена, EUR:	8990
Номинальная мощность, кВт:	160
Напряжение, В:	594-693
Рабочее напряжение, В:	674.07
Номинальный ток НО, А:	120.23
Номинальный ток LO, А:	145.73
Охлаждение:	воздушный
Эффективность при 100% нагрузке:	98
Эффективность при нагрузке 75%:	97.9
Эффективность при нагрузке 50%:	97.74
Эффективность при нагрузке 25%:	97.26

Рисунок 6. Параметры спроектированной схемы

Лабораторная работа №3 Анализ стоимости энергии для океанических и речных турбин

Цель работы: организовать мероприятия минимизирующие стоимость энергии генерируемой турбиной, за счет выбора оптимальной трансмиссии.

Веб версия программы: <https://driveconstructor.com/>

Параметры генерируемой турбины: мощность 1 МВт, номинальная скорость – 11 об/мин, крутящий момент - 868 кНм, превышение скорости - 1,2.

Вводные параметры:

- 1) Напряжение сети на берегу – 6 кВ;
 - 2) Кабели – с берега;
 - 3) Часть ТТ в парке находятся на расстоянии 1 км от берега, часть в 3 км.
-
1. Открыть веб версию программы для компьютерного моделирования и выбрать раздел «Трансмиссия с FC и трансформатором» (Drive train with gearbox, electric machine, FC and transformer);
 2. Составить в среде моделирования представленную заданием принципиальную схему;
 3. Осуществить выбор типа схемы «центробежный», настроить параметры согласно варианту, заданному работой;
 4. Выбрать топологию схемы;
 5. Установить параметры для турбины;
 6. Произвести выбор подходящих компонентов;
 7. Осуществить анализ и оптимизировать затраты;
 8. Произвести сравнение океанических и речных турбин;
 9. Произвести анализ полученных результатов.
 10. Составить отчет и вывод о работе.

Решение для программы Drive Constructor:

Шаги:

1. **Выбор топологии приводной системы:**
 - в программе выберите топологию "Drive train with gearbox, electric machine, FC and transformer"
2. **Установка параметров для турбины:**
 - введите номинальную скорость лопастей (об/мин): 11
 - введите номинальный крутящий момент (кНм): 868
 - введите коэффициент превышения скорости: 1.2
3. **Выбор подходящих компонентов:**

Редуктор:

- выберите редуктор из списка кандидатов, учитывая цену и номинальный входной/выходной крутящий момент. Например:
 - цена: 87326 EUR
 - номинальный входной крутящий момент: 200 кНм
 - номинальный выходной крутящий момент: 66 кНм
 - эффективность при номинальной нагрузке: 99%

Электрическая машина:

- выберите электрическую машину из списка кандидатов, учитывая тип, цену и номинальную мощность. Например:
 - тип: PMSM
 - цена: 529008 EUR
 - номинальная мощность: 710 кВт
 - эффективность при 100% нагрузке: 94.39%

Кабель:

- выберите кабель из списка кандидатов, учитывая длину, цену и материал проводника. Например:
 - длина: 30 м
 - цена: 2042 EUR
 - материал проводника: медь
 - сечение фазного проводника: 150 мм²

Преобразователь частоты (FC):

- выберите преобразователь частоты из списка кандидатов, учитывая тип, цену и номинальную мощность. Например:
 - тип: 2Q-2L-VSC-6p
 - цена: 37036 EUR
 - номинальная мощность: 630 кВт
 - эффективность при 100% нагрузке: 98%

Трансформатор:

- выберите трансформатор из списка кандидатов, учитывая номинальную мощность и цену. Например:
 - номинальная мощность: 630 кВА
 - цена: 12396 EUR
 - тип: stand-alone
 - эффективность при 100% нагрузке: 98.02%

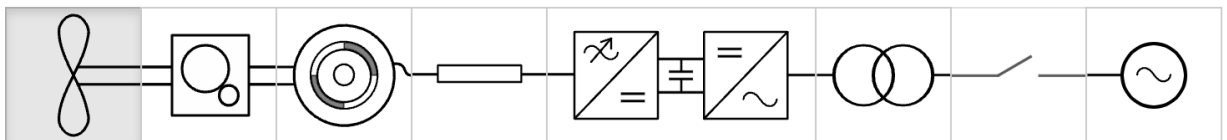


Рисунок 7. Принципиальная схема ветряной/приливной трансмиссии с трансформатором

Лабораторная работа №4 Анализ магнитного поля электрической машины

Цель работы: автоматизировать расчет магнитного поля в электрической машине с использованием Matlab.

1. Рассчитать и построить распределение магнитного поля в статоре и роторе электрической машины с помощью Matlab.
2. Использовать метод конечных элементов для анализа распределения магнитного потока.
3. Построить графики изменения плотности магнитного потока с течением времени для трехфазной системы.
4. Произвести анализ полученных результатов.
5. Составить отчет и вывод о работе.

1. Начальные параметры:

- Амплитуда магнитного поля: $B_m = 1$
- Угловая частота: $\omega = 2 * \pi * 50$ (для частоты 50 Гц)
- Вектор времени: $t = \text{linspace}(0, 2 * \pi, 1000)$

2. Плотности магнитного потока для фаз A, B и C:

$$B_{aa} = B_m * \sin(\omega * t);$$

$$B_{bb} = B_m * \sin(\omega * t - 2 * \pi / 3);$$

$$B_{cc} = B_m * \sin(\omega * t - 4 * \pi / 3);$$

Код для построения графиков плотностей магнитного потока:

```

plot(t, Baa, 'r-', t, Bbb, 'g-', t, Bcc, 'b-');
xlabel('Время');
ylabel('Плотность магнитного потока');
legend('Baa', 'Bbb', 'Bcc');

```

Расчет и построение суммарного магнитного поля:

```

Bnet = Baa + Bbb + Bcc;
plot(t, abs(Bnet), 'r', 'LineWidth', 3);
xlabel('Время');
ylabel('Величина');
title('Суммарное магнитное поле');

```

Расчет коэффициента гармоник поля:

```

Bmax = max(Bnet);
Bmin = min(Bnet);
Bavg = mean(Bnet);
Kgar = (Bmax - Bmin) / Bavg;

```

Диаграмма распространения магнитных полей:

```

circle = 1.5 * (cos(w * t) + 1j * sin(w * t));
for ii = 1:length(t)
    plot(circle, 'k');
    hold on;
    plot([0 real(Baa(ii))],
    plot([0 real(Baa(ii))], [0 imag(Baa(ii))], 'k', 'LineWidth', 2);
    plot([0 real(Bbb(ii))], [0 imag(Bbb(ii))], 'b', 'LineWidth', 2);
    plot([0 real(Bcc(ii))], [0 imag(Bcc(ii))], 'm', 'LineWidth', 2);
    plot([0 real(Bnet(ii))], [0 imag(Bnet(ii))], 'r', 'LineWidth', 3);
    axis square;
    axis([-2 2 -2 2]);
    xlabel('Real');
    ylabel('Imaginary');
    drawnow;
    hold off;
end

```

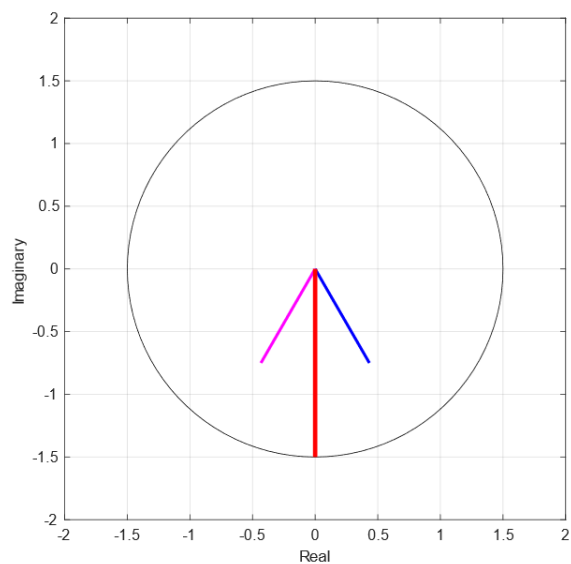


Рисунок 8. Диаграмма распространения магнитных полей

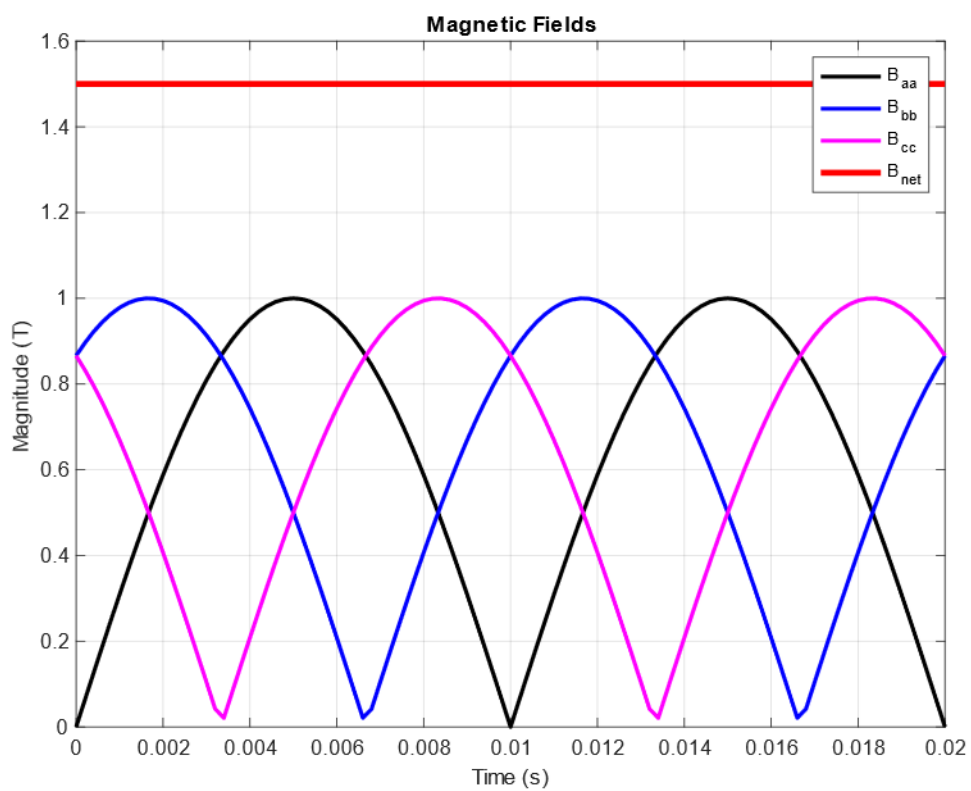


Рисунок 9. Расчетные амплитуды магнитных полей и суммарного поля для трехфазной ЭМ

Название учебного заведения
КАФЕДРА №32

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

должность,уч. степень, звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

по курсу: Моделирование и оптимизация в электроэнергетике

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ
СТУДЕНТ ГР. № _____

подпись, дата

инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 20__

Содержание отчета

Цель работы: _____

Задачи:

1. _____
2. _____
3. _____

Теоретические сведения

В отчете по лабораторной работе обязательно должны быть указаны теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторной работы, в том числе данные об установке, на которой выполнялась работа.

Расчетно-графическая часть

В начале указываются исходные данные, расчеты, графические построения.

Выводы

Отчет по лабораторной работе обязательно должен содержать выводы по лабораторной работе, в которой должны отражаться факты достижения цели.

Список используемой литературы

Список используемой литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.0.100-2018 – Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

1. Общие требования

1.1. В соответствии с ГОСТ 7.32-2017 – СИБИД. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления отчет по лабораторной работе оформляется любым печатным способом на одной стороне листа белой бумаги формата А4.

1.2. В отчете по лабораторной работе допускается интервал 1.0 и 1.5, кегль не менее 12, выравнивание по ширине, отступ красной строки 1.0.

1.3. Цвет шрифта должен быть черным.

2. Нумерация страниц отчета

2.1. Страницы отчета следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту отчета. Номер страницы проставляется в низу каждого листа по центру.

2.2. Титульный лист включается в общую нумерацию страниц отчета. Номер страницы на титульном листе не проставляется.

3. Нумерация разделов и подразделов отчета

3.1. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего отчета, обозначенные арабскими цифрами.

3.2. Разделы могут быть разбиты на подразделы. Нумерация подразделов составляется из номера раздела и подраздела, обозначенного через точку, например, «1.1.». В конце названия разделов и подразделов точка не ставится.

4. Иллюстрации

4.1. Иллюстрации подписываются снизу арабскими цифрами через пробел после слова «Рисунок» и имеют либо сквозную нумерацию, либо нумерацию в соответствии с разделами отчета.

4.2. Все иллюстрации (рисунки) должны иметь название, которое указывается после номера иллюстрации через тире, например, «Рисунок 1 – Структурная схема одноконтурной САР».

4.3. Подписи всех иллюстраций выравниваются по центру строки.

5. Графики

5.1. Графики должны быть четкими. При оформлении графиков необходимо указывать обозначения координатных осей и самих графиков.

5.2. Если графики отражают сравнение двух экспериментов, рекомендуется их выполнение в одной системе координат.

6. Таблицы

6.1. В отчете по лабораторной работе рекомендуется сквозная нумерация таблиц. Допускается нумерация таблиц в пределах раздела отчета. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

6.2. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

6.3. Нумерация таблиц производится со словом «Таблица» без знака «No», например, «Таблица 1».

6.5.4. Каждая таблица должна иметь название, которое следует помещать над таблицей слева без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире.

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся, являются:

- учебно-методический материал по дисциплине.

11.4. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

Проведение текущего контроля успеваемости осуществляется с помощью тестов, приведенных в таблице 18. Оценивание текущего контроля успеваемости оценивается по системе зачет/ не зачет.

11.5. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

– дифференцированный зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся при изучении дисциплины, при выполнении курсовых проектов, курсовых работ, научно-исследовательских работ и прохождении практик с аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Промежуточная аттестация проводится в форме дифференцированного зачета. Зачет проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развёрнутого ответа. Время на подготовку ответа - 30 минут.

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой