

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

Кафедра № 32

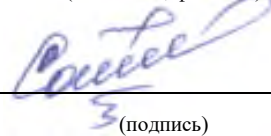
УТВЕРЖДАЮ
Руководитель образовательной программы

доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)

О.Я. Солёная

(инициалы, фамилия)



(подпись)

«27» июня 2024 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Цифровые двойники в электроэнергетике»
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки	13.04.02
Наименование направления подготовки	Электротехника и электроэнергетика
Наименование направленности	Менеджмент в электроэнергетике
Форма обучения	очная
Год приема	2024

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил

ДОЦ., К.Т.Н.
(должность, уч. степень, звание)

(подпись, дата)

В.П. Кузьменко
(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 32

«26» июня 2024 г, протокол № 10

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. преподаватель
(должность, уч. степень, звание)

(подпись, дата)

Н.В. Решетникова
(инициалы, фамилия)

Аннотация

Дисциплина «Цифровые двойники в электроэнергетике» входит в образовательную программу высшего образования – программу магистратуры по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» направленности «Менеджмент в электроэнергетике». Дисциплина реализуется кафедрой «№32».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

УК-2 «Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла»

ПК-1 «Способность самостоятельно осуществлять исследовательскую деятельность, анализировать и представлять результаты научных исследований»

ПК-2 «способен разрабатывать и обосновывать проектные решения в области профессиональной деятельности»

ПК-3 «способен применять технологии цифровых двойников для информационного моделирования объектов профессиональной деятельности.»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с технологиями информационного и компьютерного моделирования и технологии цифровых двойников в электроэнергетике.

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 экзамена.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

Язык обучения по дисциплине «русский»

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Освоение обучающимися теоретических и практических навыков применения технологий цифровых двойников (ЦД) электроэнергетических объектов, оценки влияния экономических факторов, снижения себестоимости, качества и сроков разработки информационных моделей объектов профессиональной деятельности.

Дисциплина формирует у обучающихся представление о цифровых информационных моделях, способах повышения их технологичности, а также повышения надежности и эффективности эксплуатации объектов профессиональной деятельности.

1.2. Дисциплина входит в состав части, формируемой участниками образовательных отношений, 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
Универсальные компетенции	УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.В.2 владеть навыками решения профессиональных задач в условиях цифровизации общества
Профессиональные компетенции	ПК-1 Способность самостоятельно осуществлять исследовательскую деятельность, анализировать и представлять результаты научных исследований	ПК-1.Д.2 самостоятельно выполняет исследования и создает математические модели объектов профессиональной деятельности ПК-1.Д.6 решает профессиональные задачи предиктивного и аналитического типа с применением технологий искусственного интеллекта и больших данных в области электроэнергетики
Профессиональные компетенции	ПК-2 способен разрабатывать и обосновывать проектные решения в области профессиональной деятельности	ПК-2.Д.3 использует программные продукты для расчета и проектирования объектов профессиональной деятельности
Профессиональные компетенции	ПК-3 способен применять технологии цифровых двойников для информационного моделирования объектов профессиональной деятельности.	ПК-3.Д.1 формирует классифицированную базу данных о состоянии электроэнергетических объектов и систем для построения информационных моделей ПК-3.Д.2 использует технологии цифровых двойников для моделирования работы электроэнергетических объектов и систем ПК-3.Д.4 использует методы разработки оригинальных алгоритмов и программных решений с использованием современных технологий

2. Место дисциплины в структуре ОП

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

- «Цифровая релейная защита и автоматика»;
- «Интеллектуальные системы электроснабжения»;
- «Переходные процессы в электрических системах».
- 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:
- «Киберфизические системы и технологии»;
- «Сопровождение жизненного цикла электроэнергетической продукции».

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
		№3
1	2	3
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)	4/ 144	4/ 144
Из них часов практической подготовки	25	25
Аудиторные занятия, всего час.	51	51
в том числе:		
лекции (Л), (час)	17	17
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)		
лабораторные работы (ЛР), (час)	34	34
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)	36	36
Самостоятельная работа, всего (час)	57	57
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.**)	Экз.	Экз.

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 3					
Раздел 1. Основы применения технологий цифровых двойников в электроэнергетике Тема 1.1 Понятия цифрового двойника и информационного моделирования в	2				8

электроэнергетике. Тема 1.2 Нормативная документация в предметной области. ГОСТ Р 57700.37-2021 «Цифровые двойники изделий» и Протокол МЭК 61850. Тема 1.3 Описание принципов информационного моделирования. Понятие адекватности и верификации модели. Тема 1.4 Примеры цифровых двойников в атомной, тепловой и электрической отраслях. Примеры цифровых двойников в производстве. Тема 1.5 Применение сквозных цифровых технологий при создании цифровых двойников: AI, Blockchain, IoT.					
Раздел 2. Разработка цифровых и информационных моделей электроэнергетических объектов Тема 2.1 Цифровые среды разработки информационных и математических моделей электроэнергетических объектов. Тема 2.2 Принципы использования математических моделей при работе с энергетическими объектами. Актуальность и проработка проблемных вопросов. Тема 2.3 Работа ПО SimInTech. Свойства блоков. Тема 2.4 Разработка электрической схемы. Параметры расчёта. Моделирование и проверка работоспособности. База данных сигналов системы. Тема 2.5 Системы автоматического ввода резерва (АВР). Типовые схемы и принцип работы. Тема 2.6 Разработка модели АВР в рамках систем автоматизированного проектирования. Алгоритмы управления энергетической системой. Модели электроэнергетических объектов. Графическое отображение выходных значений. Тема 2.7 Цифровой электрический привод. Управление, структурные модели. Анализ устойчивости и качества. Метод синтеза цифровых приводов. Период квантования непрерывных сигналов.	8		16		22

Раздел 3. Методы организации производственных процессов на электроэнергетических объектах Тема 3.1 Интерфейсы цифровых двойников. Тема 3.2 Искусственный интеллект для решения задач оптимизации. Тема 3.3 Машинное обучение в технологиях цифровых двойников для электроэнергетических объектов и АСУП. Основные проблемы машинного обучения при работе с цифровым двойниками.	2		12		12
Раздел 4. Анализ данных режимов работы ЭЭ объектов Применение цифровых двойников на ЭЭ объектах Тема 4.1 Системы связи на подстанциях и требования к связи для функций и моделей устройств согласно ГОСТ Р МЭК 61850-5-2011. Тема 4.2 Формирование баз данных в электроэнергетических системах. Тема 4.3 Парсинг данных. Настройка сред для обработки данных. Тема 4.4 Основы постановки задачи для создания цифрового двойника. Анализ работы системы машинного обучения цифрового двойника АСУП. Тема 4.5 Построение и анализ энергетических характеристик. Составление структуры модели и анализ выходных результатов.	5		6		15
Итого в семестре:	17		34		57
Итого	17	0	34	0	57

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	Основы применения технологий цифровых двойников в электроэнергетике Тема 1.1 Понятия цифрового двойника и информационного моделирования в электроэнергетике. Тема 1.2 Нормативная документация в предметной области. ГОСТ Р 57700.37-2021 «Цифровые двойники изделий» и Протокол МЭК 61850.

	Тема 1.3 Описание принципов информационного моделирования. Понятие адекватности и верификации модели. Тема 1.4 Примеры цифровых двойников в атомной, тепловой и электрической отраслях. Примеры цифровых двойников в производстве. Тема 1.5 Применение сквозных цифровых технологий при создании цифровых двойников: AI, BlockChain, IoT.
2	Разработка цифровых и информационных моделей электроэнергетических объектов Тема 2.1 Цифровые среды разработки информационных и математических моделей электроэнергетических объектов. Тема 2.2 Принципы использования математических моделей при работе с энергетическими объектами. Актуальность и проработка проблемных вопросов. Тема 2.3 Работа ПО SimInTech. Свойства блоков. Тема 2.4 Разработка электрической схемы. Параметры расчёта. Моделирование и проверка работоспособности. База данных сигналов системы. Тема 2.5 Системы автоматического ввода резерва(АВР). Типовые схемы и принцип работы. Тема 2.6 Разработка модели АВР в рамках систем автоматизированного проектирования. Алгоритмы управления энергетической системой. Модели электроэнергетических объектов. Графическое отображение выходных значений. Тема 2.7 Цифровой электрический привод. Управление, структурные модели. Анализ устойчивости и качества. Метод синтеза цифровых приводов. Период квантования непрерывных сигналов.
3	Методы организации производственных процессов на электроэнергетических объектах Тема 3.1 Интерфейсы цифровых двойников. Тема 3.2 Искусственный интеллект для решения задач оптимизации. Тема 3.3 Машинное обучение в технологиях цифровых двойников для электроэнергетических объектов и АСУП. Основные проблемы машинного обучения при работе с цифровым двойниками.
4	Анализ данных режимов работы ЭЭ объектов Применение цифровых двойников на ЭЭ объектах Тема 4.1 Системы связи на подстанциях и требования к связи для функций и моделей устройств согласно ГОСТ Р МЭК 61850-5-2011. Тема 4.2 Формирование баз данных в электроэнергетических системах. Тема 4.3 Парсинг данных. Настройка сред для обработки данных. Тема 4.4 Основы постановки задачи для создания цифрового двойника. Анализ работы системы машинного обучения цифрового двойника АСУП. Тема 4.5 Построение и анализ энергетических характеристик. Составление структуры модели и анализ выходных результатов.

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 3				
1	Изучение цифрового двойника информационной модели процесса реостатного пуска двигателя постоянного тока	4	4	2
2	Цифровая система автоматического регулирования энергетического объекта	4	4	2
3	Применение цифровых двойников на электроэнергетических объектах	4	4	2
4	Система автоматического ввода резерва	4	4	2
5	Лабораторный практикум «Применение технологии цифровых двойников при цифровой трансформации действующей электрической подстанции»	12	12	3
6	Имитационное моделирование окружающей среды или погодных условий вокруг энергетической системы вторичных источников энергии	6	6	4
Всего		34		

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 3, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	37	37
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)		
Домашнее задание (ДЗ)	20	20
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)		
Всего:	57	57

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)
	Булатов В.В., Солёный С.В., Сериков С.А., Кульчицкий А.А., Рысин А.В. Автоматизация проектирования и производства: учебно-методическое пособие / СПб: ГУАП, 2020. - 95 с.	30
	Рысин А.В., Солёный С.В., Солёная О.Я. Переходные процессы в электрических системах: учебное пособие / СПб: ГУАП, 2020. - 52 с.	30
	А.И. Савельев, И.В. Ватаманюк, Н.А. Павлюк, С.В. Кулешов, А.А. Зайцева, А.Ю. Аксенов Основы программирования на языке Python: учебно-методическое пособие. - СПб: ГУАП, 2019. - 38 с.	25
	А. Прохоров, М. Лысачев под редакцией А. Боровкова Цифровой двойник: анализ, тренды, мировой опыт / М.: ООО «АльянсПринт», 2020. - 401 с.	-
	С.В. Солёный, В.П. Кузьменко, В.Е. Белай Применение технологий цифровых	50

	двойников в электроэнергетических системах/СПб: ГУАП, 2024. – 75 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://disk.yandex.ru/d/bWpyrOO-akEkgw	База методических пособий к Цифровым двойникам в Электроэлектроэнергетике
https://profstandart.rosmintrud.ru	База профессиональных стандартов

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 Anaconda, SimInTech, доступ 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
Экзамен	Список вопросов к экзамену; 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»	– 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»	– 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»	– 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»	– 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
1	1. Дайте определение цифровому двойнику. Классификация ЦД. Сферы применения. 2. Отличительные признаки цифрового двойника. 3. Какие технологии конвергируются в концепции цифровых двойников? 4. Особенности оптимизации продукта с использованием цифровых двойников. 5. Особенности сбора и обработки данных для создания цифровых двойников. 6. Особенности использования систем информационного и математического моделирования цифровых двойников и цифровых теней. 7. Человеко-машинные интерфейсы в цифровых двойниках. 8. Особенности использования блокчейна в цифровых двойниках. 9. Протокол МЭК 61850. 10. Цифровые двойники (ЦД) в обеспечении жизненного цикла изделий. 11. Цифровой двойник компонента. 12. Цифровой двойник актива. 13. Цифровой двойник комплексного объекта. 14. Цифровой двойник процесса.	УК-2.В.2
2	15. Функция и роль IoT-технологий при создании цифрового двойника в электроэнергетике. 16. Практическое применение цифровых двойников в управлении объектами электроэнергетики. 17. Создание и верификация цифровой энергетической модели в программных комплексах. 18. Основные требования к современным системам релейной защиты (РЗА) в цифровых двойниках. 19. ERP системы. Модули. Типы ERP систем. 20. Концепция «Умные сети» Smart Grid. 21. Агрегированный цифровой двойник. 22. Цифровой двойник прототипа. 23. Понятие цифровой подстанции (ЦП). Организация технологии ЦД на ЦП. 24. Информационное моделирование инфраструктуры активного потребителя. 25. Динамическое моделирование технических энергосистем и их элементов.	ПК-1.Д.2
3	26. Назначение и структура ПО SimInTech. Состояние и перспективы развития ЦД в РФ в электроэнергетике. 27. Библиотеки в ПО SimInTech. Библиотеки блоков для расчета	ПК-1.Д.6

	электрических цепей. 28. Базы данных и их типы в ПО SimInTech. 29. Проверка структуры и фильтрация баз данных в ПО SimInTech. 30. Особенности работы с редактором базы данных в ПО SimInTech. 31. Типы связей в ПО SimInTech. 32. Концепция создания модели объекта в ПО SimInTech. 33. Структура системы обработки сигналов. Буфер последовательного ввода данных, буфер последовательного вывода данных, буфер FIFO/LIFO в ПО SimInTech. 34. Блок быстрого преобразования Фурье. Входные и выходные значения. Параметры портов. Графики выходных сигналов в ПО SimInTech. 35. Особенности создания модели алгоритмов управления блоками в ПО SimInTech. 36. Библиотека «Статистика» – блоки среднего среднеквадратического и среднего арифметического значения в ПО SimInTech. 37. Библиотека «Статистика»: Коэффициент эксцесса и коэффициент корреляции в ПО SimInTech. 38. Библиотека «Статистика»: Взаимной корреляции входных сигналов в ПО SimInTech. 39. Особенности языка программирования. Константы. Основные математические и унарные операторы в ПО SimInTech. 40. Структура основных векторных и матричных функций в ПО SimInTech. 41. Структура основных функций случайных чисел в ПО SimInTech. 42. Структура основных графических и системных функций в ПО SimInTech.. 43. Оптимизация путем синтеза интегрирующего регулятора. Расчет локальных критериев оптимизации. График переходного процесса в ПО SimInTech.. 44. Блок запаздывания периода квантования непрерывных сигналов в ПО SimInTech.	
4	45. Моделирование физических процессов методом синтеза цифровых приводов в ПО SimInTech. 46. Построение распределенных моделей в ПО SimInTech. 47. Моделирование работы АВР. Принципиальная схема работы АВР в ПО SimInTech. 48. Моделирование решения АВР: Схема 3-1G с подключением к ДГУ в ПО SimInTech. 49. Моделирование решения АВР: Схема 2-2С «Крест» в ПО SimInTech. 50. Моделирование решения АВР: Схема 2-2 с секционным	ПК-2.Д.3

	контактором в ПО SimInTech. 51. Библиотека Matplotlib. 52. Основные элементы графиков в ПО Matplotlib. 53. Построение графиков в ПО Matplotlib. 54. Построение диаграммы для категориальных данных в ПО Matplotlib. 55. Основы работы с модулем pyplot. 56. Работа с линейными графиками в ПО Matplotlib. 57. Свойства класса Text в ПО Matplotlib. 58. Визуализация данных. Параметры аргумента fmt в ПО Matplotlib.. 59. Построение ступенчатого, стекового, точечного графика в ПО Matplotlib. 60. Построение столбчатых и круговых диаграмм в ПО Matplotlib. 61. Построение 3D графиков. Работа с mplot3d Toolkit в ПО Matplotlib. 62. Линейное программирование. Алгоритмы решения задач оптимизации на Python. 63. Особенности оболочки интерфейса цифровых двойников на базе Pypsi. 64. API оболочка. 65. Встроенные команды Pypsi	
5	66. Встроенные плагины Pypsi. Блочные команды.Переменные 67. Структура класса pypsi.shell – оболочка Pypsi. Параметры. 68. Структура класса pypsi.completers – основные функции завершения вкладки. 69. Структура класса pypsi.core – команды ядра для подключаемых функций. 70. Структура класса pypsi.cmdline – обработка пользовательского ввода. Константы. Классы. Исключения. 71. Структура класса pypsi.namespace – команды хранения произвольных атрибутов. 72. Структура класса pypsi.format – форматирование вывода потока. 73. Основные проблемы машинного обучения при работе с цифровым двойником 74. Типы систем машинного обучения. 75. Методы оптимизации электроэнергетических систем средствами искусственного интеллекта. 76. Машинное обучение с подкреплением. Алгоритмы Q-обучения. 77. Принципиальная разница безмодельных алгоритмов и алгоритмов, базирующихся на моделях. 78. Элементы алгоритма обучения с подкреплением Формирование баз данных в электронергетических системах путем Q-обучения.	ПК-3.Д.1

	79. Анализ работы системы машинного обучения цифрового двойника 80. Конечные марковские процессы принятия решений.	
6	81. Обучение на основе временных различий. 82. Планирование и обучение табличными методами. 83. Методы Монте-Карло. Инкрементальная реализация. Управление методом с разделенной стратегией. 84. Обучение с разделенной стратегией без выборки по значимости: n-шаговый алгоритм обновления по дереву. 85. Аппроксимация функций ценности и предсказания с единой стратегией. 86. Аппроксимация с функцией запоминания. 87. Управление с единой стратегией и аппроксимацией. 88. Методы с разделенной стратегией и аппроксимацией. 89. Градиентные TD-методы. 90. Эмфатические TD-методы. 91. Методы градиента стратегии. 92. Параметры расчёта дизельной подстанции для создания цифровой модели АВР.	ПК-3.Д.2
7	93. Оценка возможности применения нейронных сетей для классификации экстремальных ситуаций в энергетике 94. AI технологии в энергетике 95. Временная разница: обучение на каждом временном шаге. 96. Алгоритм SARSA в обучение с подкреплением. 97. Опыт РФ и перспективы применения искусственных нейронных сетей в электроэнергетике. 98. Перспективные направления развития распределительных сетей при интеграции локальных интеллектуальных энергосистем. 99. Изменения в модели деятельности электросетевой организации, происходящие в рамках реализации программы Цифровая трансформация. 100. Концептуальные направления развития интеллектуальной распределительной сети.	ПК-3.Д.4

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

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
1	<u>1. Что такое цифровой двойник в электроэнергетике?</u> a) Устройство для измерения параметров электрической сети. b) Программное обеспечение для управления энергопотреблением. c) Система автоматического управления электросетями. d) Модель физического объекта, которая обновляется в реальном времени. <u>2. Как цифровые двойники могут помочь в планировании развития энергосистемы?</u> a) Моделированием различных сценариев развития и их последствия. b) Предсказыванием потребности в новых мощностях. c) Оптимизацией размещения новых объектов генерации. d) Анализом экономической эффективности различных проектов. <u>3. Сопоставьте задачи цифровых двойников с их результатами.</u> 1) Задачи: 2) Результаты: a) Прогнозирование потребления энергии b) Снижение эксплуатационных затрат c) Управление активами d) Улучшение безопасности e) Прогнозирование отказов f) Интеграция возобновляемых источников энергии g) Оптимизация процессов h) Мониторинг состояния оборудования <u>4. Составьте правильную последовательность шагов по разработке цифрового двойника для управления энергосистемой:</u> a) Анализ данных b) Тестирование моделей c) Разработка моделей управления d) Внедрение моделей e) Сбор данных о работе системы <u>5. Каковы ключевые компоненты цифрового двойника в энергосистеме и в чем их особенности?</u>	УК-2.В.2
2	<u>1. Какие данные необходимы для создания цифрового двойника?</u> a) Данные о состоянии оборудования и параметрах работы системы. b) Исторические данные о потреблении электроэнергии. c) Данные о погодных условиях и прогнозах. d) Данные о стоимости электроэнергии и тарифах. <u>2. Как цифровые двойники могут способствовать развитию возобновляемых источников энергии?</u> a) Оптимизируя работу солнечных и ветровых электростанций. b) Предсказывая производство энергии на основе погодных условий. c) Управляя интеграцией возобновляемых источников в энергосистему. d) Снижая затраты на эксплуатацию возобновляемых источников.	ПК-1.Д.2

	<u>3. Сопоставьте данные с их источниками для цифровых двойников.</u> 1) Данные: 2) Источники: a) Ручные записи b) Данные в реальном времени c) Машинное обучение d) Датчики и сенсоры e) Текстовые документы f) Исторические данные g) Аналитическое программное обеспечение h) Интернет вещей <u>4. Составьте правильную последовательность этапов разработки цифрового двойника для анализа данных:</u> a) Отчетность b) Визуализация данных c) Сбор данных d) Анализ данных e) Очистка данных <u>5. Какие основные функции выполняют цифровые двойники в электроэнергетике?</u>	
3	<u>1. Какие основные компоненты цифрового двойника?</u> a) Программное обеспечение, аппаратное обеспечение, сети передачи данных. b) Генераторы, трансформаторы, линии электропередач. c) Датчики, модели, алгоритмы и интерфейсы. d) Системы управления, системы мониторинга, системы защиты. <u>2. Как цифровые двойники могут помочь в снижении затрат?</u> a) Цифровые двойники не предназначены для снижения затрат b) Прогнозированием отказов c) Оптимизацией процессов d) Защитой физического образца от перегрева <u>3. Сопоставьте задачи цифровых двойников с их решениями.</u> 1) Задачи: 2) Решения: a) Мониторинг состояния оборудования b) Оптимизация процессов c) Интеграция возобновляемых источников энергии d) Прогнозирование отказов e) Снижение эксплуатационных затрат f) Управление активами g) Улучшение безопасности h) Прогнозирование потребления энергии <u>4. Составьте правильную последовательность этапов разработки цифрового двойника для управления аварийными ситуациями:</u> a) Анализ данных b) Тестирование моделей c) Сбор данных о состоянии оборудования d) Внедрение моделей e) Разработка моделей управления авариями <u>5. Как цифровые двойники могут способствовать повышению надежности и эффективности энергосистем?</u>	ПК-1.Д.6
4	<u>1. Каковы основные преимущества использования цифровых</u>	ПК-2.Д.3

	<u>двойников в электроэнергетике?</u> a) Уменьшение затрат на обслуживание и ремонт. b) Повышение надежности и эффективности работы энергосистемы. c) Улучшение качества электроэнергии. d) Увеличение срока службы оборудования. <u>2. Какие данные необходимы для работы цифрового двойника?</u> a) Габаритов моделируемой системы b) Данные прогноза потребления электроэнергии на месяц c) Исторические данные d) Данные в реальном времени <u>3. Сопоставьте преимущества цифровых двойников с их результатами.</u> 1) Преимущества: 2) Результаты: a) Снижение затрат на электроэнергию b) Снижение эксплуатационных затрат c) Улучшение мониторинга и управления d) Оптимизация использования ресурсов e) Повышение надежности энергосистем f) Прогнозирование отказов g) Улучшение качества обслуживания h) Снижение выбросов углекислого газа <u>4. Составьте правильную последовательность шагов по управлению рисками с помощью цифрового двойника:</u> a) Внедрение плана управления рисками b) Мониторинг и оценка эффективности плана c) Анализ рисков d) Идентификация рисков e) Разработка плана управления рисками <u>5. Какие методы оценки эффективности цифровых двойников существуют?</u>	
5	<u>1. Какие технологии используются для создания цифровых двойников?</u> a) Искусственный интеллект и машинное обучение. b) Интернет вещей (IoT). c) Большие данные и аналитика. d) Облачные вычисления. <u>2. Какие компоненты цифрового двойника необходимы для управления активами?</u> a) Математическая модель b) Аналитическое программное обеспечение c) Искусственный интеллект d) Датчики и сенсоры <u>3. Сопоставьте методы анализа данных с их инструментами.</u> 1) Методы анализа: 2) Инструменты: a) Моделирование различных сценариев b) Анализ данных в реальном времени c) Большие данные d) Машинное обучение e) Прогнозирование отказов f) Оптимизация процессов	ПК-3.Д.1

	g) Искусственный интеллект h) Интернет вещей <u>4. Составьте правильную последовательность этапов разработки цифрового двойника для прогнозирования потребления энергии:</u> a) Анализ данных b) Разработка моделей прогнозирования c) Сбор данных о потреблении энергии d) Тестирование моделей e) Внедрение моделей <u>5. Каковы преимущества использования цифровых двойников в электроэнергетике?</u>	
6	<u>1. Какие вызовы связаны с внедрением цифровых двойников в электроэнергетике?</u> a) Сложность интеграции с существующими системами. b) Необходимость в высококвалифицированных специалистах. c) Обеспечение безопасности данных. d) Высокие затраты на разработку и внедрение. <u>2. Как цифровые двойники могут улучшить безопасность в электроэнергетике?</u> a) Цифровые двойники не предназначены для обеспечения безопасности в электроэнергетике b) Через мониторинг состояния оборудования c) Прогнозируя отказы d) Обеспечивая аварийное питание <u>3. Сопоставьте ключевые роли в разработке цифровых двойников с их типами.</u> 1) Технические роли: 2) Организационные роли: a) аналитик данных b) менеджер проекта c) тренер и наставник d) специалист по управлению изменениями e) специалист по безопасности f) разработчик моделей h) стратег <u>4. Составьте правильную последовательность этапов анализа данных цифрового двойника:</u> a) Очистка данных b) Отчетность c) Визуализация данных d) Анализ данных e) Сбор данных <u>5. Какие ключевые технологии используются при создании цифровых двойников?</u>	ПК-3.Д.2
7	<u>1. Как цифровые двойники могут способствовать развитию возобновляемых источников энергии?</u> a) Управляют интеграцией возобновляемых источников в энергосистему. b) Предсказывают производство энергии на основе погодных условий. c) Оптимизируют работу солнечных и ветровых электростанций. d) Снижают затраты на эксплуатацию возобновляемых источников.	ПК-3.Д.4

	<u>2. Как цифровые двойники осуществляют прогнозирование?</u> a) Путем анализа данных в реальном времени b) Используя базу данных сценариев c) Через расчет средних значений d) Моделированием различных сценариев <u>3. Сопоставьте методы оценки эффективности цифровых двойников с их типами.</u> 1) Технические методы: 2) Организационные методы: a) опросы и анкетирование b) оценка рисков c) анализ данных d) мониторинг и отчетность e) анализ затрат и выгод f) моделирование и симуляция g) тестирование и валидация h) аудит и проверка <u>4. Составьте правильную последовательность шагов по мониторингу состояния оборудования с помощью цифрового двойника:</u> a) Сбор данных b) Прогнозирование отказов c) Планирование технического обслуживания d) Установка сенсоров и датчиков e) Анализ данных <u>5. Какие задачи решают цифровые двойники в электроэнергетике?</u>	
--	---	--

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 производится согласно темам разделов дисциплины, представленным в таблице 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:

Пример задания для лабораторной работы №1 «Изучение цифрового двойника информационной модели процесса реостатного пуска двигателя постоянного тока».

Цель работы: Изучить принцип разработки цифровой модели процесса реостатного пуска двигателя постоянного тока, смоделировать работу электрической схемы реостатного пуска двигателя постоянного тока с учетом заданных входных параметров по вариантам. Изучить выходные параметры процесса и сделать выводы о применимости разработанной модели на основе полученных данных.

Указания к лабораторной работе.

Предварительно необходимо провести расчёт реостатного пуска.

Создать цифровую модель процесса реостатного пуска двигателя постоянного тока с использованием библиотек «Автоматика», «ЭЦ-Динамика», «ЭЦ-Статика», «Источники» и «Вывод данных» по вариантам.

Создать источник переменного напряжения, трансформатор повышающий или понижающий напряжение, преобразователь напряжения с переменного на постоянное (выпрямитель), сглаживающий фильтр выпрямленного напряжения, не менее 3 реостатов плавно повышающих скорость вращения двигателя постоянного тока, двигатель постоянного тока и систему временных графиков с отображением напряжений первичной и вторичной обмоток и скорости вращения двигателя постоянного тока.

Рассчитать коэффициент трансформации, сопротивления реостатов для плавного пуска двигателя постоянного тока, выбрать сглаживающий фильтр и создать субмодель для регулирования работы выпрямителя напряжения.

Пример задания для лабораторной работы №2 «Цифровая система автоматического регулирования энергетического объекта»

Цель работы: смоделировать работу системы управления цехом с системой освещения и прокатным станом, где необходимо:

Создать однофазный источник питания с контролем питания и выводом значений по току и напряжению;

Создать систему освещения в виде RLC нагрузки с контролем питания и выводом значений по току и напряжению;

Подключить систему освещения к выводам источника питания с помощью системы регулирования;

Создать систему управления прокатного станка с регулируемой системой реостатного пуска и вывода значений по току и напряжениям;

Подключить систему управления прокатным станком к выводам системы освещения.

Указания к лабораторной работе:

В рамках моделирования работы цеха в программном обеспечении SimInTech потребуются следующие библиотеки: «Субструктуры»; «Вывод данных»; «Ключи»; «ЭЦ-Динамика».

Для создания модели системы освещения использовать следующие блоки:

- 1) 2 блока «Порт входа» и 4 блока «Порт выхода» для замыкания контура электрической цепи и вывод значений;
- 2) Измерительные устройства «Вольтметр идеальный» и «Амперметр идеальный» для снятия характеристик в контуре;
- 3) Блок «Нагрузка RLC», имитирующий работу системы освещения.
- 4) Использовать Расчётные значения источника и активно-реактивной нагрузки по заданию преподавателя.

С помощью блока «Кнопка» задать момент сопротивления на двигатель постоянного тока, где значение на выходе не должно составлять более 0,15.

Вывод характеристик с каждой системы осуществляется с помощью блока «Временной график».

В рамках выполнения лабораторной работы необходимо чтобы обучающийся мог выполнить следующие задачи:

- 5) Выполнить постепенный пуск системы работы цеха в очередности подключения «Однофазный источник напряжения» - «Система освещения» - «Прокатный стан» - «Регулятор добавочного сопротивления 1» - «Регулятор добавочного сопротивления 2» - «Регулятор добавочного сопротивления 3» - «Подача обрабатываемого изделия» и снять характеристики на каждом шаге;
- 6) Проверить работу системы при отключении питания на «Однофазного источника напряжения» и снять характеристики на всех элементах системы;
- 7) Проверить работу системы при отключении питания на «Системы освещения» и снять характеристики на всех элементах системы;
- 8) Проверить работу системы при отключении питания на «Прокатного стана» и снять характеристики на всех элементах системы.
- 9) Для изменения значения напряжения использовать блок «Идеальный трансформатор», где необходимо рассчитать коэффициент трансформации.

Пример задания для лабораторной работы №3 «Применение цифровых двойников на электроэнергетических объектах».

Цель работы: научиться работать с простыми системами прогнозирования временных рядов в цифровых двойниках реальных объектов.

Указания к лабораторной работе.

Для начала работы с системой прогнозирования, в ранее созданной среде *Anaconda* *pyrsa_dev* необходимо загрузить дополнительные библиотеки *Prophet* и *plotly*.

В рамках лабораторной работы необходимо выполнить прогнозирование производство тепловой и электрической энергии в России в 2018 году по вариантам, представленным в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Варианты для выполнения лабораторной работы

Вариант	Ссылка на базу данных	Вид энергии
1	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
2	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
3	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
4	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая

5	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
6	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
7	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
8	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
9	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
10	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
11	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
12	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
13	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
14	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
15	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
16	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
17	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
18	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
19	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
20	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
21	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
22	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
23	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
24	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
25	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
26	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
27	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
28	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая
29	https://disk.yandex.ru/d/XU9lTT1v24xZuA	Тепловая
30	https://disk.yandex.ru/d/Wbx67b2rhobJkA	Электрическая

Пример задания для лабораторной работы №4 «Система автоматического ввода резерва»

Цель работы: создать пакет проектов, обеспечивающих моделирование цифрового двойника системы управления автоматического включения резервного источника питания.

В рамках выполнения лабораторной работы необходимо смоделировать работу системы автоматического ввода резерва, где будет присутствовать ещё один источник переменного напряжения идентичный параметрам представленного в примере проектирования системы. Согласно заданию по моделированию работы системы одновременно может функционировать только один источник переменного напряжения, то есть либо генератор переменного напряжения, либо первый источник переменного напряжения, либо второй источник переменного напряжения. Необходимо проработать новый алгоритм работы системы автоматического ввода резерва, рассчитанного на три источника, разработать новую систему обработки сигналов.

Лабораторная работа №5. Имитационное моделирование окружающей среды или погодных условий вокруг энергетической системы вторичных источников энергии.

Цель работы: смоделировать многоузловую систему разных токов для прогнозирования процессов работы ветрогенераторов.

Указания к лабораторной работе.

В рамках работы будет использоваться среда разработки Anaconda и установленный в ней интерпретатор Spyder. В свою очередь при выполнении работы может использоваться любое другое программное обеспечение.

Для выполнения работы потребуется использование библиотек `pyrsa`, `numpy`, `pandas`, `os`, `matplotlib`, `cartopy`.

`Pyrsa` (Python for power system analysis) – это пакет для решения задач по моделированию и оптимизации энергетических систем, включающее различные модели генераторов, возобновляемых источников энергии, электрических сетей разных токов и накопителей электрической энергии.

`Numpy` – это библиотека для работы с многомерными массивами и высокоуровневыми математическими функциями.

`Pandas` – это библиотека для обработки и анализа данных на основе специальных структур и вложенных операций для манипуляций с числовыми таблицами и временными рядами, которая строится над библиотекой `numpy` более низкого уровня.

`Os` – встроенная библиотека, обладающая интерфейсом для взаимодействия с операционной системой, управляемой Python.

`Matplotlib` – это библиотека для преобразования данных и построения двух- и трёхмерных графиков.

`Cartopy` – это пакет, предназначенный для обработки геопространственных данных с целью создания карт и другого анализа геопространственных данных.

В рамках лабораторной работы необходимо создать среду разработки, загрузить в неё необходимые пакеты, представленные выше, создать проект и вывести схему связи ветрогенераторов и график их работы.

Состав и методические рекомендации к лабораторному практикуму «Применение технологии цифровых двойников при цифровой трансформации действующей электрической подстанции»

№ п/п	Раздел	Комментарий
1.	Тип	Лабораторный практикум
2.	Название	Применение технологии цифровых двойников при цифровой трансформации действующей электрической подстанции
5.	Образовательная программа	Электроэнергетика и электротехника 13.04.02
6.	Учебная дисциплина/дисциплины	Цифровые двойники в электроэнергетике
7.	Разделы РПД	Раздел 1. Основы применения технологий цифровых двойников в электроэнергетике. Понятия цифрового двойника и информационного моделирования в электроэнергетике.

		Нормативная документация в предметной области. ГОСТ Р 57700.37-2021 «Цифровые двойники изделий» и Протокол МЭК 61850. Описание принципов информационного моделирования. Понятие адекватности и верификации модели. Примеры цифровых двойников в атомной, тепловой и электрической отраслях. Раздел 4. Анализ данных режимов работы ЭЭ объектов. Применение цифровых двойников на ЭЭ объектах определения, назначение и основные показатели. Системы связи на подстанциях и требования к связи для функций и моделей устройств согласно ГОСТ Р МЭК 61850-5-2011. Основы постановки задачи для создания цифрового двойника. Построение и анализ энергетических характеристик. Составление структуры модели и анализ выходных результатов.
8.	ИДК компетенции	<i>Обучающиеся будут знать</i> методы сбора и анализа данных на электроэнергетических объектах. Принципы и основы работы цифровых двойников; <i>знать</i> принципы работы с базами данных сигналов электроэнергетических объектов; <i>знать</i> основы анализа данных электроэнергетических систем; <i>знать</i> принципы взаимодействия энергетических систем с технологией Интернета вещей. <i>Обучающиеся будут уметь</i> оптимизировать работу электроэнергетических объектов и систем. <i>Обучающиеся будут владеть</i> навыками поиска информации, сбора и анализа данных по режимам работы систем автоматизации электроснабжения с применением цифровых средств проектирования; <i>владеть</i> навыками внедрения и поддержки и развития технологий информационного моделирования ОКС на уровне организации.
9.	Узкоспециализированные цифровые отраслевые технологии, представленные в лабораторном практикуме	Управляемая нагрузка – дистанционно или автоматически регулируемые, интеллектуальные энергопринимающие устройства Цифровые технологии интеграции и распределенного управления электрическими сетями.
10.	Универсальные «сквозные» цифровые технологии, представленные в лабораторном практикуме	Новые производственные технологии. Технологии цифровых двойников.
11.	Типы данных	Текстовые, числовые, графические, открытые и т.д.

12.	Цель	1. Научить правильно формулировать и задавать цель и задачи проекта. 2. Научить анализировать и структурировать новую информацию и данные. 3. Развить навыки организации внедрения и развития технологий информационного моделирования и разработки структуры АСУП. 4. Научить производить критическую оценку и анализ лучших практик информационного моделирования и использования информационной модели на различных этапах жизненного цикла электроэнергетических объектов и ОКС; 5. Научить формированию систем показателей для оценки эффективности применения технологий информационного моделирования электроэнергетических объектов ОКС; 6. Развить навыки выбора типовых решений компонентов АСУП или обоснование необходимости разработки оригинальных решений.
13.	Задачи	1. Сформировать описание частей проекта по модернизации электрической подстанции и внедрения технологии цифровых двойников. 2. Сформировать общее описание инженерного решения (перечень основного и вспомогательного энергетического оборудования, выбор протоколов и разработка схемы взаимодействия аппаратной и программной частей проекта. 3. Сформировать общее описание ИТ решения (как осуществляется управление энергетическим оборудованием, как должно осуществляться взаимодействие и управление предлагаемым техническим решением. 4. Общее описание нормативно-правовых условий согласно действующей НТД и оценка технико-экономических эффектов предлагаемой концепции технического решения. 5. Разработка дорожной карты реализации проекта.
14.	Описание	На данный момент компанией ПАО «Россети» разработана концепция цифровой трансформации для реализации целей и задач национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Концепция содержит описание задач, целевой модели, используемых технологий, а также ряд задач, среди которых одной из ключевых задач является цифровая трансформация и повышение эффективности компании ПАО «Россети», улучшение характеристик надежности электроснабжения потребителей. В приоритете также повышение

доступности электросетевой инфраструктуры и диверсификация бизнеса за счет дополнительных сервисов.

В рамках описанной концепции разработана целевая модель, которая включает в себя обеспечение взаимосвязи всех информационных цифровых потоков, с применением новых производственных технологий; обработку данных для оперативно-технологического управления сети и пр.

Концепция предполагает внедрение цифровых технологий в основные рабочие процессы см. рис. 42.

Процессы	Технологии							
	Большие данные	Интернет вещей	Цифровые двойники	Искусственный интеллект	Дистанционное сканирование и создание 3D-моделей	Дополненная реальность	Виртуальная реальность	Распределенный реестр (Blockchain)
Передача электроэнергии								
Технологическое присоединение								
Оперативно-технологическое и ситуационное управление								
Техническое обслуживание и реконструкция								
Инвестиционная деятельность								
Капитальное строительство								
Финансы, экономика, бухучет								
Закупочная деятельность								
Управление рисками								
Управление персоналом								
Управление собственностью								
Управление производственными активами								
Логистика								
Правовое обеспечение								
Реализация услуг								

Рисунок 42 - Внедрение цифровых технологий в основные рабочие процессы согласно описанной концепции

Исходя из описанных основных принципов и целевой модели и стратегии цифровой трансформации ПАО «Россети». Предложить концепцию технического решения по внедрению технологий цифровых двойников при цифровой трансформации типовой действующей городской электрической подстанции 10/04 кВ или другого класса, по заданию преподавателя.

Учитывать следующие параметры подстанции, системы электроснабжения и других ОКС:

- характеристики действующего электроснабжения типовой трансформаторной подстанции.

		- учет основных и резервных источников электроснабжения. - требования к надежности электроснабжения, сведения об установленной и расчетной мощности и системах учета расхода электроэнергии в послеаварийном режиме (нарушения питания от одного из источников; обеспечение электроэнергией должно быть предусмотрено от оставшегося источника электроснабжения). - учесть, что основными потребителями электроэнергии от подстанции являются: системы электроосвещения и технологическое оборудование малой мощности, в том числе прачечной, фитнес-центра, офисов; силового оборудования систем вентиляции, системы водоснабжения и водоотведения, электроприводов ворот, систем электрообогрева, систем кондиционирования, розеточные сети, слаботочные системы, противопожарные системы, комплексная система безопасности АПС и видеонаблюдение (или по заданию преподавателя). - автоматизация подстанции должна быть предназначена как для оптимизации расходов на электроснабжение, так и для согласованного переключения аппаратов защиты, мониторинга параметров КЭЭ, учета возможности применения гибридной схемы электроснабжения с ВИЭ. - предусмотреть основные приемники собственных нужд подстанции (оперативные цепи, электродвигатели систем охлаждения трансформаторов, освещение, электроподогрев коммутационной аппаратуры ВН и шкафов, установленных на открытом воздухе, связь, сигнализация, система пожаротушения, система телемеханики и т.д. мощность потребителей СН невелика, поэтому они присоединяются к сети 380/220 В, которая получает питание от понижающих трансформаторов.) - учесть необходимую аппаратную часть для реализации технологии цифровых двойников, а также применение современной аппаратуры, материалов и приборов учета расхода электроэнергии и системы управления энергопотреблением. - произвести выбор необходимого программного комплекса для обеспечения процессов статического и динамического моделирования, рассмотреть возможность и целесообразность применения систем моделирования в реальном времени. - описать концепцию уровней передачи информации между оператором и программно-аппаратным комплексом, также модулей связи в реальном времени, РЗА, и пр.
15.	Условия выполнения	Оптимальный размер группы 2-4 человека. Трудоемкость лабораторного практикума составляет 12 часов.

16.	Критерии оценки*	- Описаны все перечисленные технологии, приведен технико-экономический анализ разработанной концепции, сформировано логичное и последовательное представление информации технического решения, обучающиеся показывают все перечисленные в п. 8 знания и умения – оценка «Отлично»; - Описано большинство перечисленных технологий, приведен технико-экономический анализ разработанной концепции, сформировано логичное и последовательное представление информации технического решения, обучающиеся показывают большинство описанных в п. 8 знаний и умений – оценка «Хорошо»; - Описана только часть из перечисленных технологий, технико-экономического анализа не произведено, либо он некорректный, сформировано неполное логичное и последовательное представление информации технического решения, обучающиеся показывают только часть описанных в п. 8 знаний и умений – оценка «Удовлетворительно»; - Не описано большинство из перечисленных технологий, технико-экономического анализа не произведено, сформировано неполное логичное и непоследовательное представление информации технического решения или техническое решение не получено, обучающиеся показывают отсутствие описанных в п. 8 знаний и умений – оценка «не удовлетворительно».
-----	------------------	---

Ожидаемый результат

1. Описание частей проекта по модернизации электрической подстанции и внедрения технологии цифровых двойников (сформировано обобщенное техническое задание).
2. Концепция инженерного решения (сформирован перечень основного и вспомогательного энергетического оборудования, описана схема взаимодействия аппаратной и программной частей проекта).
3. Выбор существующего ПО и ИТ решения (в каком программном обеспечении реализуются поставленные задачи, какими функциями должно оно)
4. Общее описание нормативно-правовых условий согласно действующей НТД и оценка технико-экономических эффектов предлагаемой концепции технического решения.

Методические рекомендации для преподавателя по применению

При обсуждении решения:

- Предложить обучающимся дополнительные материалы в зависимости от уровня подготовки – более технического или обще ознакомительного характера.
- Провести с обучающимися дискуссию об отличии существующих решений в области программного обеспечения для реализации технологии ЦД.
- Провести с обучающимися дискуссию об отличии существующих технических решений в области технических решения и уровней автоматизации подстанций и применения на них новых технологий интернета энергии.
- Обратит внимание на целевую аудиторию – различных групп потребителей энергии, их интересов и потребностей какие функции технологии ЦД действительно

необходимы, а какие только окажутся дополнительной финансовой нагрузкой при модернизации подстанции.

При проверке и оценке вариантов решения:

– Оценивать комплексность предлагаемого решения по внедрению технологии ЦД на подстанции, которое должно включать в себя помимо инженерных и ИТ аспектов, также оценку экономического эффекта от использования.

– Оценивать привлекательность сформированной концепции для разных групп потребителей с позиции ценности и стоимости внедрения технологии ЦД на всем жизненном цикле подстанции.

Структура и форма отчета о лабораторной работе:

Название учебного заведения

КАФЕДРА № ____

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

должность, уч. степень, звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

по курсу: ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. № _____

подпись, дата

инициалы, фамилия

Содержание отчета:

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

Правила оформления отчета

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 иллюстрации 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 «№», 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.

Для текущего контроля успеваемости используются комплекты тестовых заданий по темам. Тест должен состоять из 10-12 вопросов. Время выполнения 20 минут. Тест считается сданным, если выполнено не менее 80% заданий.

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:

- экзамен – форма оценки знаний, полученных обучающимся в процессе изучения всей дисциплины или ее части, навыков самостоятельной работы, способности применять их для решения практических задач. Экзамен, как правило, проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена. Экзамен проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развёрнутого ответа. Время на подготовку ответа - 60 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