

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

Кафедра № 32

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель направления

ДОЦ., К.Т.Н., ДОЦ.

(должность, уч. степень, звание)

С.В. Солёный

(инициалы, фамилия)



(подпись)

«22» июня 2023 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Распределенные интеллектуальные энергосистемы»  
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки	13.03.02
Наименование направления подготовки	Электроэнергетика и электротехника
Наименование направленности	Цифровая энергетика
Форма обучения	очно-заочная

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

\_\_\_\_\_  
доц., к.т.н.  
(должность, уч. степень, звание)

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

\_\_\_\_\_  
В.П. Кузьменко  
(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 32

«24» апреля 2023 г, протокол № 6

Заведующий кафедрой № 32

\_\_\_\_\_  
доц., к.т.н., доц.  
(уч. степень, звание)

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

\_\_\_\_\_  
С.В. Солёный  
(инициалы, фамилия)

Ответственный за ОП ВО 13.03.02(03)

\_\_\_\_\_  
доц., к.т.н., доц.  
(должность, уч. степень, звание)

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

\_\_\_\_\_  
О.Я. Солёная  
(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института №3 по методической работе

\_\_\_\_\_  
ст. преп.  
(должность, уч. степень, звание)

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

\_\_\_\_\_  
Н.В. Решетникова  
(инициалы, фамилия)

## Аннотация

Дисциплина «Распределенные интеллектуальные энергосистемы» 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-1 «способен применять технологии искусственного интеллекта в профессиональной деятельности»

ПК-5 «Способен проводить анализ и контроль параметров и условий работы отдельных компонентов электроэнергетической системы»

Содержание дисциплины охватывает широкий спектр вопросов, связанных с интеграцией, управлением и оптимизацией распределенных энергетических ресурсов (РЭР) в рамках современных электроэнергетических систем.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: 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

Основная цель преподавания данной дисциплины состоит в том, чтобы снабдить обучающихся знаниями, навыками и аналитическим опытом, необходимыми для понимания, эффективного управления распределенными энергетическими ресурсами (РЭР) в рамках современной инфраструктуры электроснабжения.

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

1.2. 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-1 способен применять технологии искусственного интеллекта в профессиональной деятельности	ПК-1. Д.2 решает профессиональные задачи предиктивного и аналитического типа с применением технологий искусственного интеллекта и больших данных в области электроэнергетики
Профессиональные компетенции	ПК-5 Способен проводить анализ и контроль параметров и условий работы отдельных компонентов электроэнергетической системы	ПК-5. Д.1 анализирует зависимости между параметрами и характеристиками компонентов электроэнергетической системы ПК-5. Д.5 осуществляет оценку текущего и прогнозируемого электроэнергетического режима энергосистемы

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

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

- Основы теории переходных процессов;
- Системы и методы искусственного интеллекта в электроэнергетике;
- Системы цифровой диспетчеризации.

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:

- Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии;
- Энергосбережение и энергоэффективность;
- Работа над ВКР.

## 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
		№8
1	2	3
<b>Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)</b>	2/ 72	2/ 72
<b>Из них часов практической подготовки</b>	17	17
<b>Аудиторные занятия, всего час.</b>	17	17
в том числе:		
лекции (Л), (час)		
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)		
лабораторные работы (ЛР), (час)	17	17
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)		
<b>Самостоятельная работа, всего (час)</b>	55	55
<b>Вид промежуточной аттестации:</b> 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) (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
<b>Семестр 8</b>					
Раздел 1. Введение в распределенные интеллектуальные электроэнергетические системы Тема 1.1. Обзор современных электроэнергетических систем Тема 1.2. Основы распределенной генерации и микросетей Тема 1.3. Значение интеллекта в электроэнергетических системах Тема 1.4. Основные проблемы и возможности распределенных интеллектуальных систем			5		15

<p>Раздел 2. Искусственный интеллект в энергосистемах</p> <p>Тема 2.1. Основы искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО)</p> <p>Тема 2.2. Методы ИИ, применяемые в электроэнергетических системах</p> <p>2.2.1. Нейронные сети</p> <p>2.2.2. Деревья решений и случайные леса</p> <p>2.2.3. Векторные машины с поддержкой</p> <p>2.2.4. Обучение с применением подкрепления</p> <p>Тема 2.3. Применение ИИ для обнаружения неисправностей, прогнозирования нагрузки и управления активами</p> <p>Тема 2.4. Тематические исследования: реализация ИИ в энергосистемах в реальных условиях</p>			5		15
<p>Раздел 3: Управление и мониторинг распределенных систем</p> <p>Тема 3.1. Компоненты распределенных систем и их параметры</p> <p>Тема 3.2. Сенсорные технологии и IoT в энергосистемах</p> <p>Тема 3.3. Стратегии управления распределенной генерацией</p> <p>3.3.1. Прямое управление</p> <p>3.3.2. Предиктивное управление</p> <p>3.3.3. Децентрализованные и централизованные схемы управления</p> <p>Тема 3.4. Роль коммуникационных инфраструктур в интеллектуальном управлении</p>			4		15
<p>Раздел 4: Расширенные темы в области распределенных интеллектуальных энергосистем</p> <p>Тема 4.1. Накопители энергии и их роль в распределенных системах</p> <p>Тема 4.2. Интеграция возобновляемых источников энергии и проблемы</p> <p>Тема 4.3. Устойчивость сети и аспекты безопасности в интеллектуальных системах</p> <p>Тема 4.4. Будущие тенденции: на пути к полностью цифровым и интеллектуальным электросетям</p>			3		10
Итого в семестре:			17		55
Итого	0	0	17	0	55

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
	Учебным планом не предусмотрено

#### 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 8				
1	Моделирование и анализ базовой распределенной энергосистемы	5	5	1
2	Прогнозирование спроса на нагрузку с помощью машинного обучения, приведенного к модели линейной регрессии.	5	5	2
3	Прогнозирование нагрузки в энергосистемах с использованием искусственных нейронных сетей	4	4	3
4	Оптимизация распределенного распределения энергоресурсов с использованием искусственного интеллекта	3	3	4
Всего		17	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 8, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	45	45
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		

Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	5	5
Домашнее задание (ДЗ)	3	3
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	2	2
Всего:	55	55

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)
	Основы программирования на языке Python : [ Электронный ресурс ] : учебно-методическое пособие / А. И. Савельев [и др.] ; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. - Электрон. текстовые дан. - Санкт-Петербург : Изд-во ГУАП, 2019. - 38 с.	18
	Основы искусственного интеллекта в профессиональной деятельности : учебно-методическое пособие / А. С. Степашкина, Е. А. Фролова, Н. В. Гущина ; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. - Санкт-Петербург : Изд-во ГУАП, 2022. - 109 с.	18
	Возобновляемые и нетрадиционные источники энергии : [ Электронный ресурс ] : учебное пособие / Д. А. Волков [и др.] ; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. - Электрон. текстовые дан. - Санкт-Петербург : Изд-во ГУАП, 2020. - 121 с	18

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
<a href="https://rawi.ru/academy/">https://rawi.ru/academy/</a>	Ассоциация ВИЭ, Академия ВИЭ
<a href="https://www.eprussia.ru/lib/">https://www.eprussia.ru/lib/</a>	Библиотека электронного журнала «Энергетика и промышленность России»



## 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
	Python IDE

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 таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Мультимедийная лекционная аудитория	21-21
2	Компьютеры с установленным на них ПО Python (версия не ниже 3.x) с библиотеками (numpy, matplotlib, pandas, and scipy) Jupyter Notebook or или любая Python IDE	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 к дифф.зачёту; 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	

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

### 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
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какова основная цель использования искусственного интеллекта в энергосистемах?</li> <li>2. Назовите два алгоритма искусственного интеллекта, обычно используемых для прогнозирования спроса в энергосистемах.</li> <li>3. Как машинное обучение способствует</li> </ol>	ПК-1. Д.2

	<p>прогнозированию технического обслуживания электрических систем?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Определите нейронные сети и их значение в прогнозировании отказов энергосистем.</li> <li>5. Какой метод искусственного интеллекта подходит для распознавания закономерностей в данных о потреблении электроэнергии?</li> <li>6. Как обучение с подкреплением помогает оптимизировать работу электросетей?</li> <li>7. Какова роль искусственного интеллекта в повышении энергоэффективности зданий?</li> <li>8. Какой этап предварительной обработки данных имеет решающее значение для обучения точных моделей искусственного интеллекта при анализе энергосистем?</li> <li>9. Объясните, как искусственный интеллект может помочь в обнаружении аномалий в энергосистемах.</li> <li>10. Как можно использовать искусственный интеллект для прогнозирования и смягчения последствий перебоев в подаче электроэнергии?</li> </ol>	
	<ol style="list-style-type: none"> <li>11. Опишите основные компоненты электроэнергетической системы.</li> <li>12. Как дисбаланс фаз в трехфазной системе влияет на качество электроэнергии?</li> <li>13. Каковы ключевые параметры для контроля работоспособности трансформатора?</li> <li>14. Как управляется реактивная мощность в энергосистеме?</li> <li>15. Каково значение коэффициента мощности в электрической системе и как его можно улучшить?</li> <li>16. Объясните принцип работы автоматического выключателя.</li> <li>17. Как управляются частотные отклонения в рамках большой взаимосвязанной сети?</li> <li>18. Какова роль конденсаторной батареи в энергосистемах?</li> <li>19. Опишите основные этапы, связанные с проведением анализа потока нагрузки.</li> </ol>	ПК-5. Д.1
	<ol style="list-style-type: none"> <li>20. Определите энергоэффективность в контексте электроэнергетических систем. Как распределенные источники генерации влияют на энергоэффективность энергосистемы?</li> <li>21. Какую роль играет управление спросом в повышении энергоэффективности электросетей?</li> <li>22. Как интеграция возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая, влияет на эффективность энергосистемы?</li> <li>23. Объясните значение высокоэффективных трансформаторов в распределительных сетях.</li> <li>24. Опишите влияние потерь на линиях электропередачи на общую эффективность энергосистемы.</li> </ol>	ПК-5. Д.5

	<p>25. Как силовые электронные устройства могут помочь в повышении эффективности систем электроснабжения?</p> <p>26. Какие проблемы в области энергоэффективности возникают в связи с увеличением проникновения электромобилей?</p> <p>27. Объясните концепцию «умных сетей» и их потенциал в повышении энергоэффективности.</p>	
--	--	--

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. Какой метод искусственного интеллекта особенно популярен для составления прогнозов на основе исторических данных в энергосистемах?</p> <p>A. Генетические алгоритмы  B. Системы нечеткой логики  C. Машины опорных векторов  <b>D. Нейронные сети</b></p> <p>2. К чему относится "реактивная мощность" в системах электроснабжения?</p> <p>A. Сила, выполняющая полезную работу  <b>B. Мощность, которая колеблется взад и вперед</b>  C. Потери электроэнергии в виде тепла  D. Мощность, используемая для защиты системы</p> <p>3. Почему прогнозирование спроса имеет решающее значение для эффективной работы энергосистемы?</p> <p>A. Для снижения общей нагрузки на систему  B. Свести к минимуму выработку реактивной мощности  <b>C. Обеспечить оптимальную выработку и распределение электроэнергии</b>  D. Ограничить роль невозобновляемых источников энергии</p> <p>4. Что из перечисленного является существенным преимуществом использования распределенных энергетических ресурсов (РЭР)?</p> <p>A. Снижение зависимости от ядерной энергии  B. Гарантированное повышение энергоэффективности  <b>C. Повышенная устойчивость и гибкость энергосистемы</b>  D. Полная замена традиционных источников питания</p>	<p>ПК-5. Д.1</p> <p>ПК-5. Д.5</p>

	<p>5. В контексте энергосистемы, какова основная функция конденсаторной батареи?</p> <p>A. Для накопления энергии в течение длительного времени  B. Обеспечить компенсацию реактивной мощности  <b>C. Выступать в качестве резервного источника во время перебоев в работе</b>  D. Для преобразования переменного тока в постоянный</p> <p>6. Какой алгоритм искусственного интеллекта особенно полезен для сопоставления сиюминутных выгод с долгосрочными целями оптимизации энергосистемы?</p> <p><b>A. Обучение с подкреплением</b>  B. Деревья принятия решений  C. K-Means кластеризация  D. Naive Bayes</p> <p>7. Как интеллектуальные сети в первую очередь повышают энергоэффективность?</p> <p>A. Путем преобразования всей энергии в возобновляемые источники  <b>B. Путем обеспечения мониторинга и контроля энергопотребления в режиме реального времени</b>  C. За счет полного устранения потерь электроэнергии  D. Путем внедрения роботов с искусственным интеллектом на электростанциях</p> <p>8. Какой компонент системы электроснабжения действует как предохранительное устройство для прерывания чрезмерных токов?</p> <p>A. Трансформатор  <b>B. Автоматический выключатель</b>  C. Индуктор  D. Резистор</p> <p>Правильные ответы выделены жирным шрифтом.</p>	ПК-1. Д.2
--	--	-----------

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  
Основная цель преподавания данной дисциплины состоит в том, чтобы снабдить обучающихся знаниями, навыками и аналитическим опытом, необходимыми для

понимания, эффективного управления распределенными энергетическими ресурсами (РЭР) в рамках современной инфраструктуры электроснабжения. Дисциплина является факультативной дисциплиной по направлению образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

#### 11.1. 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 «Моделирование и анализ базовой распределенной энергосистемы»**

Цель: лабораторная работа призвана объединить теоретические понятия из лекций с практическим моделированием, позволяя студентам оценить тонкости работы распределенных энергосистем. Использование языка Python делает моделирование гибким, и по мере изучения курса студенты могут экспериментировать с более сложными сценариями. Основная цель – ознакомить студентов с основными элементами распределенных систем электроснабжения и дать практический опыт моделирования и анализа их работы с использованием языка Python.

Необходимые инструменты:

Python (предпочтительно Python 3.x)

Jupyter Notebook или любая другая среда разработки на Python

Библиотеки: numpy, matplotlib, pandas и scipy

Задачи:

1. Создать базовую модель распределенной энергосистемы.

Определите простую систему, состоящую из источника, нагрузки и распределительных линий.

Используйте numpy для определения таких параметров системы, как напряжение, ток, сопротивление и мощность.

2. Анализ потока нагрузки.

Рассчитать поток мощности через систему при различных режимах нагрузки.  
Проанализируйте падение напряжения и ток в распределительных линиях, используя заданные параметры.

### 3. Визуализация динамики системы.

Используя `matplotlib`, построить графики, показывающие зависимость между различными параметрами, например, как изменяется падение напряжения при увеличении нагрузки.

Выделите потенциальные точки неустойчивости или неэффективности.

### 4. Влияние распределенной генерации.

Представьте источник распределенной генерации, например, небольшую солнечную батарею или ветряную турбину.

Проанализируйте, как это влияет на общую динамику системы, особенно в части регулирования напряжения и перетоков мощности.

### 5. Отчет и анализ.

Используя `pandas`, обучающиеся могут скомпилировать свои результаты в табличной форме, что облегчает интерпретацию и сравнение сценариев.

Обучающиеся должны представить свои соображения о преимуществах и проблемах распределенных энергосистем, основанные на результатах моделирования.

Результатом должен быть полный блокнот на языке Python со всеми симуляциями и визуализациями.

Краткий отчет с кратким изложением полученных результатов, включая таблицы и рисунки, а также с указанием основных выводов, сделанных в ходе лабораторной работы.

## **Лабораторная работа №2. Прогнозирование спроса на нагрузку с помощью машинного обучения, приведенного к модели линейной регрессии.**

Цель: ознакомить студентов с фундаментальными понятиями линейной регрессии и ее применениями для прогнозирования спроса на электрическую нагрузку в зависимости от различных независимых переменных, таких как температура и день недели, обучить модель машинного обучения для прогнозирования будущего спроса на нагрузку на основе исторических данных.

Краткие теоретические сведения.

Линейная регрессия — это линейный подход в статистике, используемый для моделирования связи между зависимой переменной и одной или несколькими независимыми переменными путем подгонки линейного уравнения к наблюдаемым данным. Для выполнения машинного обучения по модели линейной регрессии необходимо выполнить следующие шаги:

- определить зависимую и независимую переменную (переменные).
- разделить набор данных на обучающий и тестовый наборы.
- обучить модель на обучающем множестве.

В контексте электроэнергетических систем прогнозирование спроса на нагрузку имеет решающее значение для обеспечения надежной работы энергосистемы. На спрос могут влиять температура, день недели, праздники и другие факторы.

Прогнозирование нагрузки является важной функцией в энергосистемах. Оно помогает энергосистемам планировать и распределять ресурсы, управлять передачей

энергии между сетью и распределенными источниками, а также обеспечивать надежное обслуживание потребителей. С интеграцией возобновляемых источников энергии и появлением интеллектуальных сетей точное прогнозирование нагрузки стало еще более важным.

Задание на лабораторную работу.

Создать синтетический набор данных, моделирующий исторический спрос на электрическую нагрузку с учетом температуры и дня недели в качестве ключевых факторов влияния.

Выполнить разведочный анализ данных (EDA) для выявления тенденций и взаимосвязей в наборе данных.

Использовать обученную модель для прогнозирования значений на тестовом наборе.

Реализовать модель линейной регрессии для прогнозирования спроса на нагрузку.

Оценить эффективность модели с помощью таких показателей, как средняя абсолютная ошибка (MAE) и среднеквадратичная ошибка (RMSE).

Методические указания по выполнению лабораторной работы.

1. Формирование набора данных.

С помощью библиотеки Python `datetime` создать список дат и часов за целый год.

Используйте `numpy` для генерации случайных значений температуры в заданных пределах (например, от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $35^{\circ}\text{C}$ ).

Синтетически создайте зависимость между температурой и потребностью в нагрузке, добавив немного шума для имитации колебаний в реальном мире.

Сохраните эти данные в `pandas DataFrame`:

```
import pandas as pd
import numpy as np
import datetime
num_days = 365
dates = [(datetime.date(2022, 1, 1) + datetime.timedelta(days=i)) for i in
range(num_days)]
```

2. Эксплораторный анализ данных.

Используйте `matplotlib` для визуализации набора данных.

Постройте график зависимости температуры от спроса на нагрузку, чтобы увидеть взаимосвязь между этими двумя переменными.

Исследуйте среднюю потребность в нагрузке для каждого дня недели:

```
import matplotlib.pyplot as plt
plt.scatter(df['Temperature (°C)'], df['Historical Load Demand (MW)'])
plt.title('Temperature vs. Historical Load Demand')
plt.xlabel('Temperature (°C)')
plt.ylabel('Historical Load Demand (MW)')
plt.show()
```

3. Реализация модели линейной регрессии.

Перед началом обучения разделите набор данных на обучающий и тестовый с помощью функции `train_test_split` из `sklearn`.

Обучите модель линейной регрессии на обучающем множестве, используя класс `LinearRegression` из `sklearn`.

Используйте обученную модель для прогнозирования потребности в нагрузке на тестовом наборе:

```
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.linear_model import LinearRegression
```



```
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
model = LinearRegression()
model.fit(X_train, y_train)
y_pred = model.predict(X_test)
```

#### 4. Оценка.

Проанализируйте остатки, представляющие собой разницу между фактическими и прогнозируемыми значениями. Это поможет выявить систематические расхождения в модели.

Рассчитайте среднюю абсолютную ошибку (MAE) и среднеквадратичную ошибку (RMSE) для количественной оценки точности модели:

```
from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error
residuals = y_test - y_pred
plt.scatter(y_pred, residuals)
plt.title('Residuals Plot')
plt.xlabel('Predicted Load Demand (MW)')
plt.ylabel('Residuals (MW)')
plt.show()
print(f"Mean Absolute Error: {mean_absolute_error(y_test, y_pred)}")
print(f"Root Mean Square Error: {np.sqrt(mean_squared_error(y_test, y_pred))}")
```

#### 5. Анализ результатов.

Оцените диаграмму рассеяния температуры и спроса на нагрузку, чтобы понять прямую зависимость между температурой и спросом.

Проанализируйте график остатков. Если остатки беспорядочно разбросаны, то, скорее всего, ваша модель хорошо подходит для данных. Любые явные закономерности могут свидетельствовать об отсутствии влияющих факторов.

Рассмотрите MAE и RMSE. Более низкие значения указывают на лучшую производительность, однако всегда следует учитывать контекст этих показателей в зависимости от области и масштаба целевой переменной.

### **Лабораторная работа №3. «Прогнозирование нагрузки в энергосистемах с использованием искусственных нейронных сетей»**

Цель: знакомство обучающихся с применением интеллектуальных нейронных сетей (ИНС) в электроэнергетических системах, разработка модели для прогнозирования электрической нагрузки.

Задание на лабораторную работу:

Разработать нейросетевую модель для прогнозирования электрической нагрузки на основе исторических данных.

Оценить точность модели по сравнению с фактическими значениями нагрузки.

Методические указания к выполнению работы.

#### 1. Подготовка данных.

Используйте синтетический набор данных, имитирующий исторические данные о нагрузке, с такими атрибутами, как дата, час, температура и фактическая нагрузка.

Нормализуйте набор данных, поскольку нейронные сети лучше работают с нормализованными данными.

#### 2. Нейросетевая модель.

Используйте библиотеки Python, такие как TensorFlow или Keras.

Разделите набор данных на обучающий и тестовый наборы.

Спроектируйте архитектуру нейронной сети. Для простоты можно начать с входного слоя, одного скрытого слоя и выходного слоя.

Обучите нейросетевую модель на обучающем наборе.

### 3. Оценка.

Используйте обученную модель для прогнозирования значений нагрузки в тестовом наборе.

4. Рассчитайте такие показатели эффективности, как средняя абсолютная ошибка (MAE) и среднеквадратичная ошибка (RMSE).

### 5. Анализ.

Для визуальной оценки эффективности модели постройте графики сравнения фактических и прогнозируемых значений.

Обсудите возможные причины расхождений между фактическими и прогнозными значениями.

Предложите возможные улучшения или доработки модели.

Сравните предсказания модели с фактическими значениями.

Обсудите причины расхождений (например, простота модели, шум в синтетических данных и т.д.).

Предложите усовершенствования (например, более глубокие сети, различные архитектуры, добавление дополнительных функций и т.д.).

## **Лабораторная работа №4 Оптимизация распределенного распределения энергоресурсов с использованием искусственного интеллекта**

Цель: внедрить и обучить модель машинного обучения, которая предсказывает оптимальную отправку нескольких распределенных энергетических ресурсов (РЭР) для удовлетворения потребностей электросети.

Краткие теоретические сведения.

Распределенные энергетические ресурсы (РЭР) — это небольшие источники энергии, которые могут быть объединены для обеспечения мощности, необходимой для удовлетворения регулярного спроса. Поскольку сеть становится все более децентрализованной, крайне важно иметь алгоритмы, которые могут прогнозировать оптимальное распределение этих ресурсов. Искусственный интеллект, в частности регрессионные модели, можно использовать для прогнозирования оптимальной отправки на основе таких факторов, как погодные условия, исторический спрос и многое другое.

Задание на лабораторную работу.

Внедрите модель, которая учитывает различные факторы, такие как прогнозируемый спрос, солнечное излучение, скорость ветра и т.д., чтобы спрогнозировать выходную мощность каждого РЭР.

Обучите модель, используя исторические данные.

Оцените производительность модели.

Смоделируйте дневную отправку на основе прогнозов модели и визуализируйте ее.

Руководящие принципы для работы:

Подготовка данных: загрузите предоставленный набор данных, который содержит такие столбцы, как временная метка, прогнозируемая потребность, солнечное излучение, скорость ветра и фактическая выходная мощность каждого РЭР.

Выберите функции, которые будут введены в модель. Нормализуйте или стандартизируйте данные, если это необходимо.

Реализуйте регрессионную модель с несколькими выходами, используя TensorFlow или любую другую предпочтительную библиотеку.

Руководство по решению.

Представление данных. Набор данных должен содержать такие функции, как временная метка, прогнозируемый спрос, солнечное излучение, скорость ветра и выходные столбцы для каждого DER, такие как солнечная энергия, энергия ветра и расход батареи.

Загрузите набор данных в свою среду с помощью pandas.

Изучите данные, поймите их распределение и любые закономерности, которые могут возникнуть.

Предварительная обработка.

Убедитесь, что в наборе данных нет пропущенных значений. Обрабатывайте любые пропущенные значения подходящими методами, либо отбрасывая, либо вменяя.

Нормализуйте или стандартизируйте объекты таким образом, чтобы все они имели одинаковый масштаб, это поможет более эффективно обучать модель.

Разработка модели.

Использовать можно регрессионную модель с несколькими выходами, поскольку стремимся предсказать несколько выходов (солнечная энергия, энергия ветра и т.д.).

Определите функции (X) и целевые выходные данные (y).

Разделите данные на обучающие и тестовые наборы данных. Распространенное соотношение разделения составляет 80% для обучения и 20% для тестирования.

Используйте `MultiOutputRegressor` с `GradientBoostingRegressor` для прогнозирования. Другие модели также можно опробовать на основе экспериментов.

Обучение модели.

Обучите модель, используя обучающий набор данных.

Сохраните подготовленные веса для будущих прогнозов или дальнейшей точной настройки.

Оценка.

Используйте модель для прогнозирования на основе тестового набора данных.

Сравните прогнозируемые результаты с фактическими, используя оценочные показатели, такие как MAE и RMSE.

Визуализация.

Выберите день из набора тестовых данных и используйте модель для прогнозирования выходной мощности на каждый час.

Постройте график этих прогнозов и сравните их с фактической отправкой, чтобы визуально оценить точность модели.

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: СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ ДИСПЕТЧЕРЕЗАЦИИ

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 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.

11.2. 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;

11.3. 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.

Система оценок при проведении промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с требованиями Положений «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов ГУАП, обучающихся по программы высшего образования» и «О модульно-рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в ГУАП».

Проведение текущего контроля успеваемости осуществляется с помощью тестов, приведенных в таблице 18. Оценивание текущего контроля успеваемости оценивается по системе зачет/ не зачет. Положительный результат текущего контроля успеваемости дает студенту дополнительный балл при проведении промежуточной аттестации.

11.4. 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.

Система оценок при проведении промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с требованиями Положений «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов ГУАП, обучающихся по программы высшего образования» и «О модульно-рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в ГУАП».

Промежуточная аттестация оценивается по результатам текущего контроля успеваемости. Экзамен проводится в устной форме по билетам, представленным в таблице 15. В случае, если студент по уважительной причине не выполнил требования текущего контроля, ему предоставляется возможность сдать задолженности по пропущенным темам. Форма проведения промежуточной аттестации – письменная.

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