



КГУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГУ»)

9 28.04.2026

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Института атомной и тепловой  
энергетики

\_\_\_\_\_ С.О.Гапоненко

« 18 » 03 2025 г.

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Инженерное проектирование автономных энергоустановок

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Направленность(и)  
(профиль) Автономная распределенная энергетика

Квалификация Бакалавр

г. Казань, 2025

Программу разработал(и):

Наименование кафедры	Должность, уч.степень, уч.звание	ФИО разработчика
Автономная распределенная энергетика и химия	доцент, к.х.н., доцент	Гайнутдинова Д.Ф.
Автономная распределенная энергетика и химия	ассистент	Гайнутдинов Ф.Р.

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	АРЭ	07.03.2025	Протокол № 11	_____ Зав. каф., д.т.н., доц. Филимонова А. А.
Согласована	АРЭ	07.03.2025	Протокол № 11	_____ Зав.каф., д.т.н., доц. Филимонова А. А.
Согласована	Учебно-методический совет ИАТЭ	18.03.2025	Протокол №2	_____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О.
Одобрена	Ученый совет ИАТЭ	18.03.2025	Протокол №2	_____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О.

## 1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

*(Цель и задачи освоения дисциплины, соответствующие цели ОП)*

Цели дисциплины «Инженерное проектирование автономных энергоустановок» формирование компетенций в проектировании автономных энергоустановок (АЭУ) на базе возобновляемых и гибридных источников энергии, развитие навыков анализа, оптимизации и интеграции компонентов АЭУ для обеспечения энергоэффективности и надежности, подготовка к решению практических задач создания систем энергоснабжения в условиях отсутствия централизованных сетей.

Задачи дисциплины «Инженерное проектирование автономных энергоустановок» изучение принципов работы, конструктивных особенностей и методов расчета АЭУ (солнечные, ветровые, биоэнергетические, генераторные системы), освоение технологий выбора оборудования, балансировки нагрузок и расчета энергопотребления, формирование навыков проектирования с учетом климатических, географических и экономических факторов, анализ экологических, технико-экономических и нормативных аспектов эксплуатации АЭУ, применение программных инструментов (CAD, системы моделирования) для разработки и оптимизации проектов изучение методов обеспечения безопасности, резервирования и управления энергопотоками в автономных системах.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ПК-1. Способен участвовать в разработке и эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники, проектировать и внедрять современные автономные энергоустановки и объекты распределенной энергетики	ПК-1.1. Принимает участие в разработке принципиальных схем и оборудования для объектов теплоэнергетики и теплотехники с использованием современных цифровых технологий
ПК-2. Способен к организации технического и материального обеспечения по эксплуатации автономных энергетических систем и ее компонентов	ПК-2.1. Обосновывает технические и материальные потребности при эксплуатации объектов автономной и распределенной энергетики
ПК-4. Способен к организации технического и материального обеспечения мероприятий по совершенствованию технологии производства автономных энергетических систем и их компонентов	ПК-4.1. Выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.

Процессы и технологии распределенной генерации Б2.О.01(У) Учебная практика (ознакомительная)

Производственная практика (практика по получению первичных профессиональных навыков)

Производственная практика (технологическая)

Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.

Производственная практика (преддипломная)

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семестр(ы)		
			7	8	
<b>ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	<b>8</b>	<b>288</b>	<b>180</b>	<b>108</b>	
КОНТАКТНАЯ РАБОТА	3,6	129	69	60	
АУДИТОРНАЯ РАБОТА	2,05	74	50	24	
Лекции	1,3	46	34	12	
Практические (семинарские) занятия	0,8	28	16	12	
Лабораторные работы	-	-	-	-	
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	5,9	214	130	84	
Проработка учебного материала	1,44	97	94	3	
Курсовой проект	2	72	-	72	
Курсовая работа	-	-	-	-	
Подготовка к промежуточной аттестации	1,25	45	36	9	
Промежуточная аттестация:			Э	КП	

#### 3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоемкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1	59	10	-	6	43	ТК1	ПК-1.1. 3, У, В; ПК-2.1. 3, У, В; ПК-4.1. 3, У, В
Раздел 2	57	10	-	4	43	ТК2	ПК-1.1. 3, У, В; ПК-2.1. 3, У, В; ПК-4.1. 3, У, В
Раздел 3	64	14	-	6	44	ТК3	ПК-1.1. 3, У, В; ПК-2.1. 3, У, В; ПК-4.1. 3, У, В
Экзамен	36	-	-	-	0	<b>ОМ 1</b>	<b>ПК-1.1; ПК-2.1; ПК-4.1</b>
<b>Итого за 7 семестр</b>	<b>180</b>	<b>34</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>130</b>		
Раздел 4	18	6		6	6	ТК4	ПК-1.1. 3, У, В; ПК-2.1. 3, У, В; ПК-4.1. 3, У, В

Раздел 5	18	6		6	6	ТК5	ПК-1.1. 3, У, В; ПК-2.1. 3, У, В; ПК-4.1. 3, У, В
Курсовой проект	72				72	<b>ОМкп</b>	<b>ПК-1.1; ПК-2.1; ПК-4.1</b>
<b>Итого за 8 семестр</b>	<b>108</b>	<b>12</b>		<b>12</b>	<b>84</b>		
<b>ИТОГО</b>	<b>288</b>	<b>46</b>		<b>28</b>	<b>214</b>		

### 3.3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Основы автономных энергосистем.

Принципы автономного энергоснабжения. Классификация АЭУ: одиночные, гибридные, комбинированные системы. Компоненты АЭУ: генераторы, накопители, инверторы, контроллеры. Нормативная база и стандарты проектирования.

Раздел 2. Возобновляемые источники энергии и их интеграция.

Технологии ВИЭ: солнечные панели, ветрогенераторы, биоустановки. Расчет мощности и условий эксплуатации для разных источников. Гибридные системы: комбинация ВИЭ с дизель-генераторами, топливными элементами. Балансировка энергопотоков и минимизация потерь.

Раздел 3. Проектирование и моделирование АЭУ.

Методики проектирования под конкретные задачи (бытовые, промышленные, удаленные объекты). Выбор оборудования: критерии эффективности, стоимости, надежности. Расчет энергопотребления и пиковых нагрузок. Использование ПО для моделирования (например, HOMER, PVsyst, AutoCAD).

Раздел 4. Системы управления и оптимизация АЭУ.

Автоматизация управления энергопотоками (SCADA-системы, IoT-решения). Аккумулирование энергии: технологии хранения (Li-ion, свинцово-кислотные АКБ, водород). Оптимизация режимов работы для снижения износа и затрат. Резервирование и обеспечение бесперебойности.

Раздел 5. Эксплуатация АЭУ и практические аспекты.

Монтаж, наладка и тестирование АЭУ. Экологические и экономические аспекты (расчет окупаемости, углеродный след). Техническое обслуживание и диагностика неисправностей. Кейсы реальных проектов: анализ успешных и неудачных решений.

### 3.4. Тематический план практических занятий

1. Анализ компонентов АЭУ: расчет мощности генераторов и накопителей.
2. Определение базовых параметров автономной системы для заданных условий.
3. Разработка схемы АЭУ с учетом нормативных требований и стандартов.
4. Расчет энергопотока солнечной установки для разных географических зон.
5. Проектирование гибридной системы (солнечная + ветровая) с балансировкой нагрузки.
6. Моделирование автономной системы в ПО HOMER: оптимизация топливной смеси.

7. Расчет энергопотребления объекта и подбор оборудования под пиковые нагрузки.
8. Создание 3D-модели АЭУ в AutoCAD: компоновка компонентов.
9. Расчет емкости аккумуляторного банка для обеспечения автономности 24/7.
10. Оптимизация режимов работы гибридной системы с учетом сезонных колебаний.
11. Проектирование системы резервирования для критических объектов.
12. Расчет срока окупаемости АЭУ с учетом капитальных и эксплуатационных затрат.
13. Анализ экологического эффекта: снижение углеродного следа объекта.
14. Диагностика неисправностей в АЭУ на основе данных мониторинга.

### **3.5. Тематический план лабораторных работ**

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

### **3.6. Курсовой проект /курсовая работа**

Тематика курсовых проектов:

1. Проектирование автономной солнечно-дизельной системы для удаленного поселка.
2. Оптимизация ветро-солнечной гибридной установки для сельскохозяйственного объекта.
3. Разработка микроГЭС с аккумуляторными накопителями для горных регионов.
4. Система автономного энергоснабжения на базе биогаза для животноводческого комплекса.
5. Расчет и проектирование автономной энергоустановки для телекоммуникационной вышки.
6. Использование водородных топливных элементов в гибридных системах: анализ эффективности.
7. Проектирование мобильной автономной энергоустановки для полевых экспедиций.
8. Оптимизация работы солнечных панелей с трекерами для повышения КПД.
9. Система резервного питания для медицинского учреждения на базе ВИЭ.
10. Анализ эффективности геотермальных источников в гибридных энергосистемах.
11. Проектирование энергонезависимого умного дома с использованием AI для управления нагрузками.
12. Расчет автономной системы для электроснабжения фермы аквакультуры.
13. Использование суперконденсаторов в системах краткосрочного хранения энергии.
14. Проектирование ветродизельной системы для полярных станций.

15. Анализ влияния климатических условий на выбор компонентов АЭУ.
16. Разработка гибридной системы для зарядки электромобилей в удаленных районах.
17. Моделирование микросети на базе солнечной энергии и накопителей для жилого комплекса.
18. Энергоснабжение туристического лагеря: комбинация солнечных панелей и биоустановок.
19. Система управления энергопотоками в гибридной установке на байесовских сетях.
20. Проектирование АЭУ для обеспечения работы опреснительной установки.
21. Сравнение Li-ion и свинцово-кислотных аккумуляторов в автономных системах.
22. Использование блокчейн-технологий для учета энергопотребления в микросетях.
23. Проектирование автономной системы для освещения городской инфраструктуры.
24. Анализ устойчивости АЭУ к экстремальным погодным условиям (ураганы, наводнения).
25. Энергоснабжение роботизированных теплиц на базе гибридных источников.
26. Система рекуперации энергии в автономных промышленных установках.
27. Проектирование энергоустановки для майнинговой фермы с использованием ВИЭ.
28. Оптимизация размещения ветрогенераторов в прибрежной зоне.
29. Разработка алгоритма адаптивного управления нагрузками в гибридной системе.
30. Анализ жизненного цикла АЭУ: от проектирования до утилизации компонентов.

#### 4. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
Шкала оценивания						
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно

			зачтено			не зачтено
ПК-1	ПК-1.1. Принимает участие в разработке принципиальных схем и оборудования для объектов теплоэнергетики и теплотехники и с использованием современных цифровых технологий	знать:				
		Принципы проектирования автономных энергоустановок (АЭУ) на базе ВИЭ и гибридных систем (солнечные, ветровые, биоэнергетические, генераторные); современные цифровые технологии для разработки схем и оборудования: CAD (AutoCAD, SolidWorks), BIM (Revit), моделирование (MATLAB/Simulink, HOMER, PVsyst); нормативы, экологические и технико-экономические требования к оборудованию АЭУ	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место несколько негрубых ошибок	Минимально допустимый уровень знаний, имеет место много негрубых ошибок	Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют место грубые ошибки
		уметь:				
		Разрабатывать принципиальные схемы АЭУ, интегрируя возобновляемые и гибридные источники энергии; подбирать оборудование, балансировать нагрузки и оптимизировать энергопоток с использованием	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены	Продемонстрированы все основные умения, решены все задачи с негрубыми и ошибками, выполнены все задания в полном	Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми и ошибками, выполнены все задания, но не в	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имеют место грубые ошибки

		ПО (HOMER, EnergyPlus, ANSYS); анализировать надежность и энергоэффективность проектов в условиях отсутствия централизованных сетей	ы все задания в полном объеме	объеме, но некоторые недочетами	полном объеме	
		владеть:				
		навыками цифрового проектирования АЭУ (AutoCAD, Revit, PVsyst) для создания технической документации и 3D-моделей; методами моделирования и оптимизации гибридных систем.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имеют место грубые ошибки
ПК-2	ПК-2.1. Обосновывает технические и материальные потребности при эксплуатации объектов автономной и распределенной энергетики	<i>Знать</i>				
		Основы эксплуатации автономных и распределенных энергосистем: требования к ТООиР; методы расчета материально-технических ресурсов: потребность в топливе; экономические модели оценки жизненного цикла оборудования (LCC-анализ), себестоимости энергии	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место несколько негрубых ошибок	Минимально допустимый уровень знаний, имеет место много негрубых ошибок	Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют место грубые ошибки
		<i>Уметь</i>				
		Составлять технико-экономические	Продемонстрированы все	Продемонстрированы все	Продемонстрированы	При решении стандарт

		обоснования (ТЭО) для выбора оборудования с учетом надежности, стоимости обслуживания и доступности ресурсов; прогнозировать потребности в материалах и энергоресурсах на основе анализа нагрузок, климатических и географических условий.	основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	основные умения, решены все основные задачи с негрубыми и ошибками, выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные умения, решены типовые задачи с негрубыми и ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме	ных задач не продемонстрированы основные умения, имеют место грубые ошибки
		<i>Владеть:</i>				
		Навыками расчета эксплуатационных затрат (CAPEX/OPEX) и анализа рентабельности проектов; технологиями ресурсосбережения и управления жизненным циклом компонентов АЭУ	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имеют место грубые ошибки
ПК-4	ПК-4.1. Выполняет сбор, обработку, анализ и обобщение отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных	<i>Знать:</i>				
		Методологии сбора и анализа научно-технической информации (патенты, научные статьи, отраслевые отчеты, кейсы); современные тренды в области автономной энергетики: гибридные	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место несколько негрубых ошибок	Минимально допустимый уровень знаний, имеет место много негрубых ошибок	Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют место грубые ошибки

	энергетических систем и их элементов	системы, умные сети, накопители энергии, цифровые двойники				
		<i>Уметь</i>				
		Проводить сравнительный анализ технологий, выявляя лучшие практики и их применимость к локальным условиям; интегрировать передовой опыт в проектные решения, учитывая технико-экономические ограничения	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми и ошибками, выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми и ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имеют место грубые ошибки
		<i>Владеть</i>				
	Методами критической оценки источников, верификации информации и академического письма; практикой подготовки обзоров, технических отчетов и презентаций для команды или заказчика	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имеют место грубые ошибки	

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика.

## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1. Учебно-методическое обеспечение**

#### 5.1.1. Основная литература

1. Ярушин, С. Г. Проектирование нестандартного оборудования : учебник / С. Г. Ярушин, А. Г. Схиртладзе. — Пермь : ПНИПУ, 2004. — 440 с. — ISBN 5-88151-446-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/160775>.
2. Антропов, А. П. Физико-химические аспекты конструирования возобновляемых источников энергии : учебное пособие / А. П. Антропов, М. В. Лебедева, А. В. Рагуткин. — Москва : РТУ МИРЭА, 2019. — 63 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/171498>.

#### 5.1.2. Дополнительная литература

3. Винтер, Н. М. Технологии организационного проектирования : учебное пособие / Н. М. Винтер. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021. — 67 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/218468>
4. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / составитель И. Ю. Чуенкова. — Ставрополь : СКФУ, 2015. — 148 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/155133>.

### **5.2. Информационное обеспечение**

#### 5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

1. Электронная библиотечная система КГЭУ "ИРБИС64" (<http://lib.kgeu.ru/>).
2. Электронно-библиотечная система «Лань» (<https://e.lanbook.com/>)
3. ДК размещенный в LMS Moodle 3.0

#### 5.2.2. Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

1. Международная реферативная база данных ([http:// link.springer.com](http://link.springer.com)).
2. Научная электронная библиотека "eLIBRARY.RU" (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>).
3. Российская государственная библиотека (<http://www.rsl.ru>)
4. Энциклопедии, словари, справочники (URL: <http://www.rubricon.com>).

#### 5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

1. Пользовательская операционная система Windows 10.
2. ПО для эффективного онлайн- взаимодействия преподавателя и студента LMS Moodle. Современное программное обеспечение. <https://download.moodle.org/releases/latest/>
3. Система поиска информации в сети интернет Браузер Chrome
4. Пакет программ для создания и просмотра файлов формата PD Adobe Acrobat

## 6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование вида учебной работы	Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории	Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения
Лекции	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), демонстрационное оборудование, учебно-наглядные пособия
Практические занятия	Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран) и др.
	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
Самостоятельная работа	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
	Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение
	Учебная аудитория для выполнения курсового проекта (курсовой работы) В-525 (указывается при наличии КР/КП и такой аудитории)	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, программное обеспечение

## **7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета [www//kgeu.ru](http://www//kgeu.ru). Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18

пунктов), тотально озвучивается;

- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

## **8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.**

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);

- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);

- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

*Гражданское и патриотическое воспитание:*

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и

интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

*Духовно-нравственное воспитание:*

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

*Культурно-просветительское воспитание:*

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

*Научно-образовательное воспитание:*

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

**Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год**

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф. реализующей дисциплину	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					

*Приложение к рабочей  
программе дисциплины*



**КГУ**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГУ»)**

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
по дисциплине**

**Инженерное проектирование автономных энергоустановок**

---

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Направленность(и)  
(профиль(и)) Автономная распределенная энергетика

Квалификация Бакалавр

г. Казань, 2025



## Семестр 8

Наименование раздела	Формы и вид контроля	Рейтинговые показатели							
		I текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК1	II текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК2	III текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК3	Итого	Промежуточная аттестация
<b>Раздел 4. Системы управления и оптимизация АЭУ</b>	<b>ТК4</b>	<b>15</b>	<b>0-15</b>					<b>15-30</b>	<b>15-30</b>
Собеседование		5							
Отчет по самостоятельной работе (ПЗ)		10							
<b>Раздел 5. Эксплуатация АЭУ и практические аспекты</b>	<b>ТК5</b>			<b>40</b>	<b>0-40</b>			<b>40-70</b>	<b>40-70</b>
Собеседование				5					
Отчет по самостоятельной работе (ПЗ)				35					
<b>Промежуточная аттестация (КП)</b>	<b>ОМ кп</b>								<b>0-45</b>
Задание промежуточной аттестации									0-15
В письменной форме по билетам									0-30

## 2. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено			не зачтено
ПК-1	ПК-1.1. Принимает участие в разработке принципиальных схем и оборудования для объектов	знать: Принципы проектирования автономных энергоустановок (АЭУ) на базе ВИЭ и гибридных систем	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место	Минимально допустимый уровень знаний, имеет место	Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют

<p>теплоэнергетики и теплотехники и с использованием современных цифровых технологий</p>	<p>(солнечные, ветровые, биоэнергетические, генераторные); современные цифровые технологии для разработки схем и оборудования: CAD (AutoCAD, SolidWorks), BIM (Revit), моделирование (MATLAB/Simulink, HOMER, PVsyst); нормативы, экологические и технико-экономические требования к оборудованию АЭУ.</p>	<p>ки, без ошибок</p>	<p>несколько негрубых ошибок</p>	<p>много негрубых ошибок</p>	<p>место грубые ошибки</p>
<p>уметь:</p>					
<p>Разрабатывать принципиальные схемы АЭУ, интегрируя возобновляемые и гибридные источники энергии; подбирать оборудование, балансировать нагрузки и оптимизировать энергопоток с использованием ПО (HOMER, EnergyPlus, ANSYS); анализировать надежность и энергоэффективность проектов в условиях отсутствия централизованн</p>	<p>Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме</p>	<p>Продемонстрированы все основные умения, решены все задачи с негрубыми и ошибками, выполнены все задания в полном объеме, но некоторыми недочетами</p>	<p>Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми и ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме</p>	<p>При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имеют место грубые ошибки</p>	

		ых сетей				
		владеть:				
		навыками цифрового проектирования АЭУ (AutoCAD, Revit, PVsyst) для создания технической документации и 3D-моделей; методами моделирования и оптимизации гибридных систем.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имеют место грубые ошибки
ПК-2	ПК-2.1. Обосновывает технические и материальные потребности при эксплуатации объектов автономной и распределенной энергетики	<i>Знать</i>				
		Основы эксплуатации автономных и распределенных энергосистем: требования к ТОиР; методы расчета материально-технических ресурсов: потребность в топливе; экономические модели оценки жизненного цикла оборудования (LCC-анализ), себестоимости энергии	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место несколько негрубых ошибок	Минимально допустимый уровень знаний, имеет место много негрубых ошибок	Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют место грубые ошибки
		<i>Уметь</i>				
		Составлять технико-экономические обоснования (ТЭО) для выбора оборудования с учетом надежности, стоимости обслуживания и доступности ресурсов;	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками, выполнен	Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками, выполнены все	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имеют место грубые ошибки

		прогнозировать потребности в материалах и энергоресурсах на основе анализа нагрузок, климатических и географических условий.	ми, выполнены все задания в полном объеме	бы все задания в полном объеме, но некоторые недочетами	задания, но не в полном объеме	
		<i>Владеть:</i>				
		Навыками расчета эксплуатационных затрат (CAPEX/OPEX) и анализа рентабельности проектов; технологиями ресурсосбережения и управления жизненным циклом компонентов АЭУ	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имеют место грубые ошибки
ПК-4	ПК-4.1. Выполняет сбор, обработку, анализ и обобщение отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов	<i>Знать:</i>				
		Методологии сбора и анализа научно-технической информации (патенты, научные статьи, отраслевые отчеты, кейсы); современные тренды в области автономной энергетики: гибридные системы, умные сети, накопители энергии, цифровые двойники	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место несколько негрубых ошибок	Минимально допустимый уровень знаний, имеет место много негрубых ошибок	Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют место грубые ошибки
		<i>Уметь</i>				
		Проводить сравнительный анализ	Продемонстрированы все	Продемонстрированы все	Продемонстрированы	При решении стандарт

		технологий, выявляя лучшие практики и их применимость к локальным условиям; интегрировать передовой опыт в проектные решения, учитывая технико-экономические ограничения	основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	основные умения, решены все основные задачи с негрубыми и ошибками, выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	основные умения, решены типовые задачи с негрубыми и ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме	ных задач не продемонстрированы основные умения, имеют место грубые ошибки
		<i>Владеть</i>				
		Методами критической оценки источников, верификации информации и академического письма; практикой подготовки обзоров, технических отчетов и презентаций для команды или заказчика	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имеют место грубые ошибки

Оценка **«отлично»** выставляется за выполнение *практических заданий по проектированию автономных энергоустановок в семестре; глубокое понимание процессов производства тепловой и электрической энергии при собеседовании, полные и содержательные ответы на вопросы билета (теоретическое и практическое задание);*

Оценка **«хорошо»** выставляется за выполнение *практических заданий по проектированию автономных энергоустановок в семестре; понимание процессов производства тепловой и электрической энергии при собеседовании, ответы на вопросы билета (теоретическое или практическое задание);*

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется за выполнение типовых практических заданий по проектированию автономных энергоустановок в семестре; и ответы на вопросы билета;

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется за слабое и неполное выполнение проектирования энергоустановки.

### 3. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Описание оценочного средства
Курсовой проект (КП), курсовая работа (КР)	Конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся	Темы проектов
Практическое задание (ПЗ)	Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание компетенций по дисциплине, содержит четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий	Комплект задач и заданий
Собеседование (Сбс)	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по разделам дисциплины

### 4. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

*Примеры заданий*

**Для текущего контроля ТК1:**

Проверяемые компетенции:

ПК-1. Способен участвовать в разработке и эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники, проектировать и внедрять современные автономные энергоустановки и объекты распределенной энергетики

ПК-1.1. Принимает участие в разработке принципиальных схем и оборудования для объектов теплоэнергетики и теплотехники с использованием современных цифровых технологий

ПК-2. Способен к организации технического и материального обеспечения по эксплуатации автономных энергетических систем и ее компонентов

ПК-2.1. Обосновывает технические и материальные потребности при эксплуатации объектов автономной и распределенной энергетики

ПК-4. Способен к организации технического и материального обеспечения мероприятий по совершенствованию технологии производства автономных энергетических систем и их компонентов

ПК-4.1. Выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов

### **Вопросы к комплексному заданию ТК1 (Сбс)**

1. Дайте определение автономной энергоустановки (АЭУ). В чем её ключевое отличие от сетевой системы?

2. Перечислите основные компоненты АЭУ и объясните роль каждого в системе.

3. Что такое «гибридная энергоустановка»? Приведите примеры комбинаций источников энергии.

4. Опишите принцип работы инвертора. Почему он критически важен в автономных системах?

5. Какие типы аккумуляторов используются в АЭУ? Сравните их по ёмкости, сроку службы и стоимости.

6. Объясните термин «глубина разряда (DoD)». Как она влияет на выбор аккумулятора?

7. Что такое «коэффициент автономности»? Как его рассчитать?

8. Назовите нормативные документы, регламентирующие проектирование АЭУ в вашей стране.

9. Какие риски возникают при отсутствии резервирования в системе? Как их минимизировать?

10. Опишите функции контроллера заряда. Какие типы контроллеров вы знаете (PWM, MPPT)?

11. Как климатические условия (температура, влажность) влияют на работу солнечных панелей и аккумуляторов?

12. Какие этапы включает монтаж и ввод в эксплуатацию АЭУ?

13. Что такое «микросеть»? Приведите пример её применения в автономных условиях.

14. Объясните, как рассчитать суточное энергопотребление объекта для проектирования АЭУ.

15. Какие требования предъявляются к безопасности АЭУ (электрическая, пожарная, экологическая)?

16. Почему в некоторых системах используют дизель-генераторы в сочетании с ВИЭ?

17. Как выбрать мощность генератора для резервирования гибридной системы?

18. Что такое «баланс системы» (BOS) в контексте АЭУ? Перечислите его компоненты.

19. Опишите алгоритм выбора оборудования для АЭУ с учетом бюджета и надежности.

20. Какие проблемы могут возникнуть при интеграции разнородных источников энергии в одну систему?

21. Как обеспечить бесперебойность энергоснабжения в условиях нестабильной генерации (например, при слабом ветре)?

22. Что такое «умная нагрузка»? Приведите примеры её использования в АЭУ.

23. Объясните, как рассчитать ёмкость аккумуляторного банка для 3-дневной автономии.

24. Какие современные тенденции в проектировании АЭУ вы считаете наиболее перспективными?

25. Кейс-вопрос: Предложите решение для энергоснабжения удаленной метеостанции с нагрузкой 10 кВт·ч/сутки и ограниченным бюджетом.

### **ПЗ. Комплект задач и заданий. ТК1**

**Практическое занятие 1.** Анализ компонентов АЭУ: расчет мощности генераторов и накопителей.

Цель занятия: сформировать навыки расчета мощности генераторов и емкости накопителей для автономных энергоустановок, научиться подбирать оборудование под заданные условия эксплуатации, оценивать автономность системы и баланс между генерацией и потреблением.

1. Солнечные панели + аккумуляторы. Условие: суточное потребление объекта – 12 кВт·ч; инсоляция – 4,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день; КПД системы – 80. Рассчитайте требуемую площадь солнечных панелей; емкость аккумуляторного банка для 2 суток автономии.

2. Ветрогенератор + дизель-генератор. Условие: среднесуточная нагрузка – 30 кВт·ч; КИУМ ветрогенератора – 25. Определите суточную выработку ветрогенератора; необходимую мощность дизель-генератора для покрытия дефицита.

3. Гибридная система (солнце + ветер). Условие: объект потребляет 25 кВт·ч/сутки; инсоляция – 3,8 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день (КПД панелей – 18). Рассчитайте количество солнечных панелей (мощность одной – 400 Вт); мощность ветрогенератора для покрытия 40.

4. Аккумуляторный банк. Условие: нагрузка – 5 кВт·ч/день; требуется 3 суток автономии; напряжение системы – 48 В; глубина разряда – 50. Определите емкость аккумуляторов в А·ч; количество аккумуляторов (емкость одного – 200 А·ч).

5. Резервирование дизель-генератором. Условие: пиковая нагрузка – 15 кВт; коэффициент запаса – 1,3. Рассчитайте мощность дизель-генератора для резервирования системы.

6. Оптимизация солнечной установки. Условие: солнечные панели (КПД – 20). Определите требуемую площадь панелей; количество панелей (размер одной – 2 м<sup>2</sup>).

7. Энергоснабжение удаленного объекта. Условие: объект потребляет 8 кВт·ч/сутки; используются свинцово-кислотные аккумуляторы (КПД – 85). Рассчитайте емкость аккумуляторного банка; мощность инвертора, если пиковая нагрузка – 3 кВт.

8. Ветро-солнечная система. Условие: нагрузка – 50 кВт·ч/сутки; ветрогенератор (мощность – 15 кВт, КИУМ – 30). Определите суточную выработку ветрогенератора; площадь солнечных панелей для покрытия 60.

9. Система с водородным накопителем. Условие: электролизер производит 2 кг водорода в сутки (теплотворная способность – 33,3 кВт·ч/кг); нагрузка – 40 кВт·ч/день. Рассчитайте энергию, запасенную в водороде; время автономной работы при отключении генерации.

10. Сравнение Li-ion и свинцовых АКБ. Условие: емкость банка – 20 кВт·ч; Li-ion (DoD – 90). Определите полезную емкость для каждого типа; количество циклов заряда, если ежедневный разряд – 10 кВт·ч.

**Практическое занятие 2.** Определение базовых параметров автономной системы для заданных условий.

Цель занятия: определять параметры автономной энергоустановки (АЭУ) на основе анализа климатических данных, энергопотребления объекта и доступных ресурсов, а также подбирать оптимальные компоненты системы для обеспечения надежности и экономической эффективности.

1. Солнечная система для жилого дома. Условие: дом потребляет 20 кВт·ч/сутки; регион: инсоляция – 4.2 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, КПД панелей – 18. Рассчитайте площадь солнечных панелей. Определите емкость аккумуляторов для 2 суток автономности (DoD = 60).

2. Ветроэнергетическая установка. Условие: средняя скорость ветра – 6 м/с, диаметр ротора ветрогенератора 8 м, КПД – 35. Рассчитайте мощность ветрогенератора. Определите суточную выработку энергии.

3. Гибридная система для удаленного поселка. Условие: поселок потребляет 50 кВт·ч/сутки. Зимой инсоляция падает на 40. Предложите соотношение солнечных панелей и ветрогенераторов. Рассчитайте мощность дизель-генератора для резерва.

4. Расчет емкости аккумуляторов. Условие: нагрузка – 10 кВт·ч/день; требуется 3 суток автономности; напряжение системы – 24 В, DoD – 70. Определите емкость аккумуляторного банка в А·ч. Рассчитайте количество аккумуляторов (емкость одного – 250 А·ч).

5. Сравнение Li-ion и свинцово-кислотных АКБ. Условие: емкость банка – 15 кВт·ч; Li-ion: DoD – 90. Определите полезную емкость для каждого типа. Рассчитайте срок службы (циклы) при ежедневном разряде 5 кВт·ч.

6. Оптимизация системы под бюджет. Условие: бюджет – 300 000 руб; солнечные панели: 50 000 руб/кВт; аккумуляторы: 20 000 руб/кВт·ч. Подберите мощность панелей и емкость АКБ для нагрузки 12 кВт·ч/день (автономность – 2 дня).

7. Учет географических условий. Условие: объект расположен в горной местности: инсоляция – 5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, средняя скорость ветра – 3 м/с. Выберите основной источник энергии (солнце/ветер). Обоснуйте выбор

расчетами.

8. Экономическая окупаемость АЭУ. Условие: стоимость системы – 500 000 руб; ежегодная экономия на топливе – 100 000 руб. Рассчитайте срок окупаемости. Предложите меры для снижения срока.

9. Система для объекта с переменной нагрузкой. Условие: пиковая нагрузка – 8 кВт, средняя – 3 кВт. Подберите мощность инвертора и генератора. Укажите оптимальный тип АКБ.

10. Кейс: Энергоснабжение научной станции. Условие: станция в Антарктиде: потребление – 30 кВт·ч/сутки, температура до  $-50^{\circ}\text{C}$ , ветер – 10 м/с. Предложите схему АЭУ (источники + накопители). Рассчитайте мощность ветрогенераторов и площадь панелей (инсоляция – 2 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день).

**Практическое занятие 3.** Разработка схемы АЭУ с учетом нормативных требований и стандартов.

Цель занятия: проектировать схемы автономных энергоустановок (АЭУ) в соответствии с техническими, экологическими и нормативными требованиями (ГОСТ, ИЕС, СП), а также формировать навыки выбора оборудования, расчёта параметров и оформления документации.

1. Солнечная электростанция для жилого дома. Условие: дом потребляет 15 кВт·ч/сутки. Регион: инсоляция – 4.5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Требования ГОСТ Р 58146-2018 (безопасность ВИЭ), автономность – 2 дня. Рассчитайте мощность солнечных панелей. Подберите аккумуляторы (DoD = 60). Нарисуйте схему системы с учетом требований к заземлению (ПУЭ 7).

2. Ветродизельная гибридная система. Условие: объект потребляет 40 кВт·ч/сутки. Средняя скорость ветра – 5 м/с. Норматив ИЕС 61400-2 (ветрогенераторы). Рассчитайте мощность ветрогенератора. Определите время работы дизель-генератора (КПД – 30). Укажите на схеме узлы защиты от перегрузок (по ПУЭ).

3. Система для сейсмоопасного региона. Условие: АЭУ для больницы в зоне сейсмичности 8 баллов. Нагрузка – 50 кВт·ч/сутки. Норматив СП 14.13330.2018. Выберите тип креплений солнечных панелей и ветрогенераторов. Рассчитайте мощность резервного генератора. Изобразите схему с учетом сейсмостойкости.

4. МикроГЭС с аккумуляторами. Условие: расход воды — 0.5 м<sup>3</sup>/кВт·ч; высота напора – 10 м. Требования ГОСТ Р 51237-98 (гидротурбины). Рассчитайте мощность микроГЭС. Определите емкость аккумуляторов для суточной нагрузки 20 кВт·ч. Добавьте на схему систему контроля уровня воды.

5. Система с водородным накопителем. Условие: электролизер производит 1 кг H<sub>2</sub>/день (33.3 кВт·ч/кг). Требования NFPA 2 (водородная безопасность). Рассчитайте энергию, запасенную в водороде. Укажите на схеме зоны вентиляции и датчики утечки.

6. АЭУ для промышленного объекта. Условие: пиковая нагрузка – 100 кВт. Норматив ПТЭЭП (Правила технической эксплуатации). Подберите инвертор и генератор. Рассчитайте сечение кабелей (по ПУЭ). Начертите схему с разделением нагрузок на категории (I, II, III).

7. Система для Крайнего Севера. Условие: температура до  $-50^{\circ}\text{C}$ ;

нагрузка – 30 кВт·ч/сутки. Требования ГОСТ 15150 (климатическое исполнение). Выберите морозостойкие аккумуляторы (LiFePO<sub>4</sub>). Рассчитайте мощность обогревательных элементов для панелей. Изобразите схему с термоизоляцией компонентов.

8. Гибридная система с резервированием. Условие: объект критической инфраструктуры; нагрузка – 60 кВт·ч/сутки. Норматив ГОСТ Р 50571.5.52 (резервирование). Рассчитайте мощность солнечных панелей и ветрогенераторов. Добавьте на схему АВР (автоматический ввод резерва). Укажите точки подключения дизель-генератора.

9. Экологически чистая АЭУ. Условие: требования: ISO 14001 (экологический менеджмент); нагрузка – 25 кВт·ч/сутки. Подберите биоразлагаемые компоненты (например, аккумуляторы с низким CO<sub>2</sub>). Рассчитайте углеродный след системы за 5 лет. Изобразите схему с системой утилизации отходов.

10. АЭУ для мобильной станции. Условие: мобильная станция с нагрузкой 8 кВт·ч/сутки. Требования MIL-STD-810G (виброустойчивость). Рассчитайте мощность солнечных панелей (КПД – 20). Выберите компактные Li-ion аккумуляторы (DoD – 90). Нарисуйте схему с креплениями для транспортировки.

Для выполнения заданий используйте: нормативные документы: ГОСТ, ИЕС, СП, ПУЭ; формулы:  $P = \eta \cdot S \cdot I$  (солнечные панели),  $E_{\text{акк}} = E_{\text{сут}} \cdot \text{Дни/DoD} \cdot \text{КПД}$ ; программы: AutoCAD, SketchUp, Excel для расчётов; примеры схем однолинейные электрические схемы, 3D-модели.

### **Для текущего контроля ТК2:**

Проверяемые компетенции:

ПК-1. Способен участвовать в разработке и эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники, проектировать и внедрять современные автономные энергоустановки и объекты распределенной энергетики

ПК-1.1. Принимает участие в разработке принципиальных схем и оборудования для объектов теплоэнергетики и теплотехники с использованием современных цифровых технологий

ПК-2. Способен к организации технического и материального обеспечения по эксплуатации автономных энергетических систем и ее компонентов

ПК-2.1. Обосновывает технические и материальные потребности при эксплуатации объектов автономной и распределенной энергетики

ПК-4. Способен к организации технического и материального обеспечения мероприятий по совершенствованию технологии производства автономных энергетических систем и их компонентов

ПК-4.1. Выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов

### **Вопросы к комплексному заданию ТК2 (Сбс)**

1. Назовите основные виды возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В чем их ключевые преимущества перед традиционными?

2. Опишите принцип преобразования солнечной энергии в электрическую в фотоэлектрических панелях.
3. Какие факторы снижают КПД солнечных панелей на практике? Как их минимизировать?
4. Объясните разницу между ветрогенераторами с горизонтальной и вертикальной осью вращения. Где каждый тип эффективнее?
5. Как рассчитывается мощность ветроустановки? Приведите формулу и объясните переменные.
6. Что такое «биогаз»? Опишите этапы его получения и использования в энергосистемах.
7. Какие преимущества и ограничения у микроГЭС? Приведите примеры их применения.
8. Почему в системах с ВИЭ необходимы аккумуляторы? Какие альтернативы существуют?
9. Опишите технологию хранения энергии с использованием водородных топливных элементов.
10. Что такое «баланс системы» (BOS) в солнечной электростанции? Перечислите его компоненты.
11. Как географическое расположение объекта влияет на выбор типа ВИЭ? Приведите примеры.
12. Объясните термин «умная сеть» (Smart Grid). Как она интегрируется с автономными системами?
13. Какие экологические риски возникают при использовании ВИЭ? Как их снизить?
14. Что такое «коэффициент использования установленной мощности» (КИУМ)? Как его рассчитать для ветрогенератора?
15. Опишите технологию геотермальных источников. Где они наиболее эффективны?
16. Как работает тепловой насос? Какие типы ВИЭ можно с ним комбинировать?
17. Почему гибридные системы (например, солнечная + ветровая энергия) считаются более надежными?
18. Какие современные материалы повышают эффективность солнечных панелей? (Перовскиты, гетеропереходы и т.д.)
19. Как рассчитать площадь солнечных панелей для заданной выработки энергии? Приведите пример.
20. Что такое «трекер» в солнечной энергетике? Насколько он увеличивает выработку энергии?
21. Опишите принцип работы приливных электростанций. Где их целесообразно использовать?
22. Какие инновации в ветроэнергетике вы считаете перспективными? (Плавающие ветрогенераторы, роторы без лопастей и т.д.)
23. Как учитывают сезонные колебания генерации при проектировании систем с ВИЭ?

24. Кейс-вопрос: Предложите схему энергоснабжения острова с высокой солнечной инсоляцией и сильными ветрами, но ограниченным бюджетом.

25. Кейс-вопрос: Рассчитайте количество солнечных панелей для дома с суточным потреблением 20 кВт·ч (КПД системы — 85).

### **ПЗ Комплект задач и заданий. ТК-2.**

**Практическое занятие 4.** Расчет энергопотока солнечной установки для разных географических зон.

Цель занятия: рассчитать энергопоток солнечных установок с учетом географических особенностей (инсоляция, широта, климат), анализировать влияние угла наклона панелей, сезонных колебаний и климатических условий на выработку энергии, а также оптимизировать параметры системы для конкретных регионов.

1. Базовый расчет для экваториальной зоны. Условие: город Сингапур ( $1^\circ$  с.ш.). Среднегодовая инсоляция – 5,2 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Солнечные панели: 10 шт., мощность каждой – 400 Вт. Рассчитайте годовую выработку энергии (КПД системы – 80). Определите оптимальный угол наклона панелей для максимизации генерации.

2. Умеренный климат (средняя широта). Условие: город Москва ( $55^\circ$  с.ш.). Летняя инсоляция – 4,8 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, зимняя – 1,2 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Рассчитайте сезонную выработку панели мощностью 350 Вт (КПД – 18). Предложите угол наклона для зимнего периода.

3. Пустынная зона. Условие: регион Дубай ( $25^\circ$  с.ш.). Инсоляция – 6,1 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Температура летом  $+45^\circ\text{C}$  (падение КПД панелей – 0,4). Определите реальную летнюю выработку панели 450 Вт. Рассчитайте потери из-за температуры.

4. Полярный регион. Условие: город Мурманск ( $68^\circ$  с.ш.). Летняя инсоляция – 4,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, зимняя – 0,3 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Рассчитайте годовую выработку системы из 20 панелей (300 Вт каждая). Предложите решение для зимнего энергоснабжения.

5. Горный регион. Условие: Альпы (высота 2000 м). Инсоляция – 5,8 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Угол наклона панелей –  $45^\circ$ . Рассчитайте выработку панели 400 Вт с учетом отражения от снега (+15). Оцените влияние угла наклона на генерацию.

6. Тропики с высокой облачностью. Условие: регион Амазония ( $3^\circ$  ю.ш.). Инсоляция – 4,0 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Потери из-за облачности – 25. Определите реальную выработку системы из 15 панелей (320 Вт каждая). Рассчитайте необходимую емкость аккумуляторов для суточной автономии (нагрузка – 20 кВт·ч).

7. Сравнение широт. Условие: панель 500 Вт. Сравните: Найроби ( $1^\circ$  ю.ш., инсоляция 5,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день); Берлин ( $52^\circ$  с.ш., инсоляция 3,0 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день). Рассчитайте разницу в годовой выработке (КПД – 20). Объясните, как широта влияет на угол наклона.

8. Оптимизация угла наклона. Условие: город Сочи ( $43^\circ$  с.ш.). Инсоляция при угле  $30^\circ$  – 4,2 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, при угле  $50^\circ$  – 3,8 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Определите

оптимальный угол для панели 400 Вт. Рассчитайте потери при неоптимальном угле.

9. Влияние сезонов. Условие: Токио (35° с.ш.). Летняя инсоляция – 5,0 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, зимняя – 2,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Рассчитайте выработку системы (10 панелей по 350 Вт) за июнь и декабрь. Предложите схему сезонной корректировки угла наклона.

10. Кейс: Островное энергоснабжение. Условие: остров в Тихом океане (10° ю.ш.). Инсоляция – 5,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Нагрузка – 50 кВт·ч/сутки. Рассчитайте количество панелей (мощность одной – 450 Вт). Укажите требования к аккумуляторам (автономность – 2 дня, DoD – 70%).

Для расчетов используйте:

$$\text{Формулу: } E = P \cdot S \cdot \eta \cdot I \cdot t,$$

где  $E$  – энергия (кВт·ч),  $P$  – мощность панели (кВт),  $S$  – количество панелей,  $\eta$  – КПД,  $I$  – инсоляция,  $t$  – время. Поправки на температуру:  $\eta_{\text{реал}} = \eta \cdot (1 - 0,004 \cdot (T - 25))$ . Угол наклона оптимальный  $\approx$  широта местности.

**Практическое занятие 5.** Проектирование гибридной системы (солнечная + ветровая) с балансировкой нагрузки.

Цель занятия: сформировать навыки проектирования гибридных энергосистем, сочетающих солнечную и ветровую генерацию, с учетом балансировки нагрузки, сезонных колебаний ресурсов и оптимизации энергопотоков, рассчитывать параметры компонентов, анализировать энергопотребление и обеспечивать стабильность системы.

1. Энергоснабжение удаленной деревни. Условие: нагрузка 50 кВт·ч/сутки; солнечная инсоляция: 4,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день; средняя скорость ветра: 5 м/с (плотность воздуха 1,225 кг/м<sup>3</sup>, КПД ветрогенератора 35%). Рассчитайте количество солнечных панелей (400 Вт каждая) и мощность ветрогенератора. Определите емкость аккумуляторов для 2 суток автономии (DoD = 70%).

2. Система для горного курорта. Условие: зимой ветер 8 м/с, инсоляция 2 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день; летом ветер 4 м/с, инсоляция 5,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день; нагрузка: 30 кВт·ч/сутки. Подберите соотношение солнечных панелей и ветрогенераторов для круглогодичной работы. Рассчитайте мощность резервного дизель-генератора.

3. Островная микросеть. Условие: нагрузка 100 кВт·ч/сутки (пиковая – 20 кВт); солнечные панели: КПД 20%, инсоляция 5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день; ветрогенератор диаметр ротора 10 м, скорость ветра 6 м/с. Определите площадь панелей и мощность ветроустановки. Рассчитайте емкость Li-ion аккумуляторов (DoD = 90%).

4. Балансировка сезонной нагрузки. Условие: летом 70% энергии от солнца, 30% от ветра; зимой: 30% от солнца, 70% от ветра; годовая нагрузка: 10 000 кВт·ч. Рассчитайте мощность солнечных панелей и ветрогенераторов. Постройте график месячной генерации.

5. Система с водородным накопителем. Условие: избыток энергии летом направляется на электролизер (КПД 70%); зимой водород используется в топливных элементах (КПД 50%); нагрузка зимой: 40 кВт·ч/сутки. Рассчитайте объем водорода для сезонного хранения. Определите площадь солнечных

панелей (инсоляция 5,8 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день).

6. Минимизация дизельной генерации. Условие: текущий расход дизеля: 200 л/месяц. Цель: сократить использование на 80%. Солнечная инсоляция 4 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, ветер: 4,5 м/с. Подберите мощность ВИЭ и аккумуляторов. Рассчитайте экономию топлива в год.

7. Умное управление нагрузкой. Условие: пиковая нагрузка: 8 кВт (18:00–22:00); солнечная генерация 5 кВт·ч/день, ветровая 3 кВт·ч/день. Спрогнозируйте дефицит энергии. Предложите алгоритм управления (например, отложенный запуск мощных приборов).

8. Система для полярной станции. Условие: полярная ночь: 3 месяца, ветер 10 м/с; лето инсоляция 3 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день; нагрузка: 25 кВт·ч/сутки. Рассчитайте мощность ветрогенераторов для зимы. Определите емкость аккумуляторов на 90 дней.

9. Экономическая оптимизация. Условие: бюджет: 500 000 руб; стоимость солнечная панель – 30 000 руб/кВт, ветрогенератор – 50 000 руб/кВт, АКБ – 20 000 руб/кВт·ч; нагрузка 15 кВт·ч/сутки. Подберите компоненты, максимизируя долю ВИЭ. Рассчитайте срок окупаемости.

10. Кейс: Гибридная система для фермы. Условие: нагрузка: 70 кВт·ч/сутки (насосы, освещение, техника). солнечная инсоляция: 4,8 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, ветер: 5,5 м/с. Спроектируйте систему с резервированием для критических нагрузок (водоснабжение). Укажите на схеме точки подключения и защитные устройства.

Используйте ПО (HOMER, PVsyst) для моделирования и проверки расчетов. Учитывайте потери в инверторе (КПД 90–95). Для балансировки применяйте правило: генерация  $\geq$  нагрузка + 20.

### **Для текущего контроля ТК 3:**

ПК-1. Способен участвовать в разработке и эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники, проектировать и внедрять современные автономные энергоустановки и объекты распределенной энергетики

ПК-1.1. Принимает участие в разработке принципиальных схем и оборудования для объектов теплоэнергетики и теплотехники с использованием современных цифровых технологий

ПК-2. Способен к организации технического и материального обеспечения по эксплуатации автономных энергетических систем и ее компонентов

ПК-2.1. Обосновывает технические и материальные потребности при эксплуатации объектов автономной и распределенной энергетики

ПК-4. Способен к организации технического и материального обеспечения мероприятий по совершенствованию технологии производства автономных энергетических систем и их компонентов

ПК-4.1. Выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов.

### **Вопросы к комплексному заданию ТК3 (Срс)**

1. Назовите основные этапы проектирования автономной

энергоустановки.

2. Какие критерии вы учитываете при выборе оборудования для гибридной системы (солнечная + ветровая энергия)?

3. Для чего используется ПО HOMER? Приведите пример оптимизации системы с его помощью.

4. Опишите методику расчета суточного энергопотребления объекта.

5. Как определить пиковую нагрузку системы и подобрать под неё инвертор?

6. Объясните, как оптимизировать соотношение солнечных панелей и дизель-генератора в гибридной системе.

7. Какие данные необходимы для моделирования АЭУ в программе PVsyst?

8. Как рассчитать срок окупаемости автономной энергоустановки?

9. Опишите процесс создания 3D-модели АЭУ в AutoCAD. Какие слои и компоненты обязательны?

10. Какие методы диагностики неисправностей применяются в автономных системах?

11. Как выбрать емкость аккумуляторного банка с учетом глубины разряда и автономности?

12. Что такое «балансировка энергопотоков»? Приведите алгоритм её реализации.

13. Как учитывать сезонные колебания нагрузки при проектировании АЭУ?

14. Какие параметры влияют на выбор сечения кабелей в системе?

15. Объясните, как работает алгоритм управления нагрузками в умных сетях (Smart Grid).

16. Как спроектировать систему резервирования для критически важных объектов?

17. Какие современные инструменты (например, AI) используются для оптимизации АЭУ?

18. Опишите методику расчета виртуального «острова» в микросетях.

19. Как учесть потери энергии при передаче от источника к потребителю?

20. Какие нормативы применяются для расчета пожарной безопасности АЭУ?

21. Как спроектировать систему для объекта с переменной нагрузкой (например, гостиница)?

22. Что такое «анализ жизненного цикла» АЭУ? Какие этапы он включает?

23. Как моделировать гибридную систему с использованием водородных накопителей?

24. Кейс-вопрос: Рассчитайте мощность солнечных панелей для дачи с суточным потреблением 8 кВт·ч (инсоляция – 3.5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, КПД системы – 78).

25. Кейс-вопрос: Предложите схему АЭУ для завода с нагрузкой 100 кВт·ч/сутки, учитывая бюджет и возможность подключения к сети.

### **ПЗ Комплект задач и заданий. ТК-3.**

**Практическое занятие 6.** Моделирование автономной системы в ПО HOMER: оптимизация топливной смеси.

Цель занятия: проектировать и оптимизировать гибридные энергосистемы в ПО HOMER Pro, минимизируя расход топлива за счет интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ), эффективного управления генерацией и анализа экономической целесообразности.

1. Базовая гибридная система (дизель + солнечная энергия). Создайте модель системы с дизельным генератором (50 кВт) и солнечными панелями (КПД 18%). Определите оптимальное соотношение мощностей, при котором расход дизеля снижается на 40%. Исходные данные: нагрузка 30 кВт·ч/сутки, инсоляция 4,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день.

2. Влияние ветрогенерации на топливную эффективность. Добавьте к базовой модели ветрогенератор (мощность 20 кВт, КИУМ 25%). Проанализируйте, как его включение снижает расход топлива. Постройте график генерации по источникам за год.

3. Оптимизация емкости аккумуляторов. Исследуйте, как емкость Li-ion аккумуляторов (от 50 до 200 кВт·ч) влияет на частоту использования дизеля. Определите минимальную емкость для сокращения работы генератора на 70.

4. Учет сезонных колебаний. Смоделируйте систему с сезонной нагрузкой: лето – 25 кВт·ч/сутки, зима – 40 кВт·ч/сутки. Настройте солнечные панели и ветрогенераторы для компенсации зимнего роста потребления.

5. Экономический анализ при изменении цен на топливо. Рассчитайте срок окупаемости системы при цене дизеля 60 руб/л и 90 руб/л. Определите, при какой цене переход на гибридную систему становится выгодным.

6. Стратегии управления генерацией. Сравните два сценария. Приоритет ВИЭ (солнце/ветер → аккумуляторы → дизель). Приоритет дизеля. Определите, какая стратегия дает меньший расход топлива.

7. Учет деградации солнечных панелей. Смоделируйте снижение КПД панелей на 0,5% в год. Рассчитайте, как это повлияет на расход топлива через 10 лет.

8. Резервный дизель-генератор. Добавьте резервный генератор (30 кВт), который включается при падении заряда АКБ ниже 20%. Определите, как это влияет на общую надежность и расход топлива.

9. Географическая оптимизация. Сравните две локации: регион А: инсоляция 5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, ветер 4 м/с; регион Б: инсоляция 3 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, ветер 7 м/с. Определите, какой регион требует большей доли дизельной генерации.

10. Анализ чувствительности. Проведите анализ по параметрам: стоимость солнечных панелей (от 30 000 до 60 000 руб/кВт); КИУМ ветрогенератора (от 20% до 35%). Выявите наиболее критичные факторы для минимизации топливных затрат.

**Практическое занятие 7.** Расчет энергопотребления объекта и подбор оборудования под пиковые нагрузки.

Цель занятия: сформировать навыки анализа энергопотребления объекта, расчета пиковых нагрузок и подбора оборудования (генераторов, аккумуляторов, инверторов) с учетом требований к надежности, экономической эффективности и резервированию.

1. Жилой дом с солнечными панелями. Условие: суточное потребление – 15 кВт·ч, пиковая нагрузка – 5 кВт (вечером, 2 часа). Солнечные панели 4 кВт, инсоляция – 4 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Рассчитайте емкость аккумуляторов для покрытия вечернего пика (DoD = 70). Определите, хватит ли солнечной генерации для дневной нагрузки.

2. Кафе с резервным генератором. Условие: пиковая нагрузка – 20 кВт (обеденное время, 3 часа). Среднесуточное потребление – 80 кВт·ч. Подберите мощность дизель-генератора с запасом 20. Рассчитайте расход топлива за месяц (КПД генератора – 30).

3. Производственный цех. Условие: пиковая нагрузка – 150 кВт (длительность – 4 часа/день). Напряжение – 380 В. Рассчитайте сечение кабелей для подключения оборудования. Предложите схему резервирования (АВР + генератор).

4. Удаленная метеостанция. Условие: нагрузка: 10 кВт·ч/сутки, пик – 3 кВт (2 раза в день). Климат -30°C зимой. подберите LiFePO4 аккумуляторы с учетом падения емкости на холоде (-20). Рассчитайте мощность солнечных панелей (инсоляция зимой – 1,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день).

5. Торговый центр. Условие: пиковая нагрузка – 200 кВт (с 18:00 до 22:00). Тариф на электроэнергию: дневной – 6 руб/кВт·ч, ночной – 3 руб/кВт·ч. Предложите систему накопления энергии (аккумуляторы) для снижения затрат. Рассчитайте экономию за месяц при хранении 30.

6. Ферма с ветрогенерацией. Условие: пиковая нагрузка – 25 кВт (насосы, утром и вечером). Средняя скорость ветра – 6 м/с. Рассчитайте мощность ветрогенератора для покрытия пиков. Определите емкость аккумуляторов (DoD = 80).

7. Больница с ИБП. Условие: критическая нагрузка – 50 кВт (реанимация, 24/7). Требуется 100. Подберите ИБП с временем автономии 8 ч. Рассчитайте количество свинцово-кислотных АКБ (емкость одной – 200 А·ч, напряжение – 48 В).

8. Спортивный комплекс. Условие: пиковая нагрузка – 120 кВт (бассейн, тренажеры). Возможность использования солнечной энергии (инсоляция – 5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день). Рассчитайте площадь солнечных панелей для покрытия 40. Определите мощность резервного генератора.

9. Офисное здание. Условие: пиковая нагрузка – 80 кВт (рабочие часы). Тарифная ставка 7 руб/кВт·ч. Предложите систему «умного» управления нагрузкой для снижения пика на 20. Рассчитайте годовую экономию.

10. Кейс: АЭУ для мобильной связи. Условие: вышка связи 5 кВт·ч/сутки, пиковая нагрузка – 2 кВт (аварийный режим). Локация: пустыня (инсоляция – 6 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день). Подберите солнечные панели и аккумуляторы. Укажите требования к охлаждению оборудования.

**Практическое занятие 8. Создание 3D-модели АЭУ в AutoCAD:**

компоновка компонентов.

Цель занятия: сформировать навыки 3D-моделирования автономных энергоустановок (АЭУ) в AutoCAD, научить студентов корректно размещать компоненты системы (солнечные панели, ветрогенераторы, аккумуляторы, инверторы) с учетом технических требований, эргономики обслуживания и безопасности.

1. Базовая модель солнечной электростанции. Создайте 3D-модель солнечной электростанции мощностью 10 кВт. Разместите солнечные панели на каркасе с углом наклона  $30^\circ$ , соблюдая расстояние между рядами для исключения затенения. Добавьте инвертор и распределительный щит.

2. Ветродизельная гибридная система. Смоделируйте установку с ветрогенератором (мощность 5 кВт) и дизель-генератором (20 кВт). Разместите оборудование на площадке с учетом минимальных расстояний (ветрогенератор – 15 м от зданий, генератор – 3 м от аккумуляторов).

3. Аккумуляторная батарея в помещении. Спроектируйте помещение для Li-ion аккумуляторов (емкость 50 кВт·ч). Укажите вентиляционные каналы, противопожарные перегородки и пути эвакуации согласно ГОСТ Р 50571.5.53.

4. Мобильная АЭУ для экспедиции. Создайте 3D-модель мобильной установки на базе прицепа (габариты:  $3 \times 2 \times 2$  м). Разместите компактные солнечные панели (складные), аккумуляторы и инвертор с защитой от вибрации.

5. Система для крыши жилого дома. Смоделируйте размещение солнечных панелей на скатной крыше (угол  $45^\circ$ ). Добавьте крепления, кабельные каналы и молниезащиту. Учтите запас пространства для обслуживания (0.5 м вокруг панелей).

6. Промышленный объект с ВИЭ. Спроектируйте АЭУ для цеха: солнечные панели на крыше, ветрогенераторы на территории, аккумуляторный блок в отдельном помещении. Нанесите на модель зоны безопасности (ограждения, предупреждающие знаки).

7. Микросеть для удаленного поселка. Разместите солнечные панели (100 кВт), ветрогенераторы (30 кВт) и дизель-генератор (50 кВт) на схеме поселка. Соедините компоненты кабельными линиями с учетом минимальных потерь.

8. Система с трекерами для солнечных панелей. Создайте 3D-модель солнечных панелей с одноосными трекерами. Рассчитайте и отобразите траекторию движения панелей в течение дня.

9. АЭУ для сейсмоопасного региона. Спроектируйте крепления для оборудования (аккумуляторы, инверторы) с учетом сейсмической нагрузки 8 баллов. Используйте ГОСТ Р 52726-2007 для выбора материалов и конструкций.

10. Визуализация и документация. Подготовьте комплект чертежей: план размещения, разрезы, спецификации оборудования. Добавьте аннотации с размерами, мощностью и требованиями к монтажу. Создайте фотореалистичную визуализацию модели.

**Для текущего контроля ТК4:**

ПК-1. Способен участвовать в разработке и эксплуатации объектов

теплоэнергетики и теплотехники, проектировать и внедрять современные автономные энергоустановки и объекты распределенной энергетики

ПК-1.1. Принимает участие в разработке принципиальных схем и оборудования для объектов теплоэнергетики и теплотехники с использованием современных цифровых технологий

ПК-2. Способен к организации технического и материального обеспечения по эксплуатации автономных энергетических систем и ее компонентов

ПК-2.1. Обосновывает технические и материальные потребности при эксплуатации объектов автономной и распределенной энергетики

ПК-4. Способен к организации технического и материального обеспечения мероприятий по совершенствованию технологии производства автономных энергетических систем и их компонентов

ПК-4.1. Выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов.

### **Вопросы к комплексному заданию ТК4 (Сбс)**

1. Опишите принцип работы SCADA-системы в контексте управления автономной энергоустановкой.

2. Какие задачи решает IoT-платформа в гибридных энергосистемах? Приведите примеры датчиков и их роли.

3. Как оптимизировать режимы работы дизель-генератора в гибридной системе с ВИЭ?

4. Объясните, как алгоритмы машинного обучения применяются для прогнозирования энергопотребления.

5. Какие методы используются для балансировки энергопотоков между солнечными панелями, ветрогенераторами и аккумуляторами?

6. Как рассчитать оптимальную ёмкость аккумуляторного банка с учетом циклов заряда-разряда?

7. Что такое «умное резервирование»? Приведите пример его реализации для критических объектов.

8. Какие преимущества у литий-ионных аккумуляторов перед свинцово-кислотными в системах с частыми циклами заряда?

9. Опишите методику снижения пиковых нагрузок с помощью управления умными нагрузками.

10. Как работает система приоритизации потребителей при дефиците энергии?

11. Какие параметры мониторинга необходимы для предотвращения перегрузок в АЭУ?

12. Объясните, как использовать водородные накопители для долгосрочного хранения энергии.

13. Какие алгоритмы управления применяются в микросетях для обеспечения стабильности напряжения?

14. Рассчитайте время автономии системы, если аккумуляторный банк имеет ёмкость 100 кВт·ч, а нагрузка – 5 кВт·ч/день (глубина разряда – 80).

15. Как оптимизировать работу гибридной системы в условиях сезонных колебаний генерации (лето/зима)?

16. Что такое «виртуальная электростанция» (VPP) и как она интегрируется с АЭУ?

17. Какие риски возникают при использовании AI для управления энергопотоками? Как их минимизировать?

18. Опишите принцип работы системы автоматического ввода резерва (АВР) в гибридных установках.

19. Как оценить экономическую эффективность внедрения системы управления на базе IoT?

20. Какие стандарты связи (Modbus, CAN, ZigBee) используются в АЭУ и почему?

21. Кейс-вопрос: Предложите схему управления для гибридной системы (солнце + ветер + дизель), минимизирующую расход топлива.

22. Как обеспечить синхронизацию разнородных источников энергии в одной системе?

23. Какие методы применяются для диагностики и прогнозирования износа компонентов АЭУ?

24. Опишите роль блокчейн-технологий в учете и распределении энергии в микросетях.

25. Кейс-вопрос: Рассчитайте оптимальную мощность дизель-генератора для резервирования системы с пиковой нагрузкой 20 кВт и средней нагрузкой 8 кВт (коэффициент запаса – 1,25).

### **ПЗ Комплект задач и заданий. ТК4.**

**Практическое занятие 9.** Расчет емкости аккумуляторного банка для обеспечения автономности 24/7.

Цель занятия: рассчитать емкость аккумуляторного банка, учитывая суточное энергопотребление, глубину разряда (DoD), КПД системы, климатические условия и срок службы, для обеспечения непрерывного энергоснабжения объекта.

1. Базовый расчет для жилого дома. Условие: суточное потребление 12 кВт·ч. Глубина разряда (DoD) 50. Рассчитайте емкость аккумуляторного банка для 2 суток автономии.

2. Учет циклов заряда-разряда. Условие: ежедневный разряд 70. Определите минимальную емкость АКБ для нагрузки 8 кВт·ч/сутки.

3. Влияние низких температур. Условие: работа при  $-20^{\circ}\text{C}$  (падение емкости на 30). Рассчитайте скорректированную емкость АКБ для 3 дней автономии.

4. Резервирование для критического объекта. Условие: больница потребляет 20 кВт·ч/сутки. Требуется резерв на 72 часа. DoD: 40. Определите емкость Li-ion аккумуляторов (КПД: 95).

5. Гибридная система (солнце + ветер). Условие: солнечные панели покрывают 60. Рассчитайте емкость АКБ для компенсации дефицита (DoD: 70).

6. Сравнение типов аккумуляторов. Условие: свинцово-кислотные (DoD:

50). Определите, какой тип выгоднее при стоимости: свинцовые – 200 руб/кВт·ч, Li-ion – 800 руб/кВт·ч.

7. Оптимизация DoD для минимизации затрат. Условие: стоимость АКБ: 300 руб/кВт·ч; нагрузка: 10 кВт·ч/сутки; требуемый срок службы: 10 лет. Найдите оптимальную глубину разряда (DoD) для баланса между емкостью и стоимостью.

8. Переменная нагрузка в течение суток. Условие: пиковая нагрузка: 8 кВт (2 часа), базовая: 2 кВт (22 часа). Рассчитайте емкость АКБ для покрытия пиков (DoD: 80)

9. Система с подзарядкой от генератора. Условие: дизель-генератор работает 4 часа/день (вырабатывает 15 кВт·ч). Нагрузка: 20 кВт·ч/сутки. Определите емкость АКБ для компенсации разницы (DoD: 60).

10. Комплексный кейс. Телекоммуникационный узел. Условие: потребление 5 кВт·ч/сутки; климат  $-30^{\circ}\text{C}$  зимой; бюджет 500 000 руб. Подберите тип и емкость АКБ с учетом падения емкости на 40.

**Практическое занятие 10.** Оптимизация режимов работы гибридной системы с учетом сезонных колебаний.

Цель занятия: адаптировать гибридные энергосистемы (солнечная + ветровая + резерв) к сезонным изменениям генерации и нагрузки, минимизируя зависимость от топливных ресурсов и обеспечивая стабильность энергоснабжения.

1. Базовый расчет сезонной генерации. Условие: летняя инсоляция – 6 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, зимняя – 2 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Ветрогенератор (10 кВт): летний КИУМ – 20. Рассчитайте месячную выработку солнечных панелей (20 кВт) и ветрогенератора для января и июля. Определите дефицит энергии, если нагрузка – 50 кВт·ч/сутки.

2. Балансировка источников энергии. Условие: летом: 80. Рассчитайте мощность солнечных панелей и ветрогенераторов. Постройте график сезонного распределения генерации.

3. Аккумуляторы для компенсации зимнего дефицита. Условие: дефицит зимой – 30 кВт·ч/сутки. Глубина разряда (DoD) – 70. Рассчитайте емкость аккумуляторного банка для 5 дней автономии. Определите, сколько циклов заряда потребуется за зиму (90 дней).

4. Оптимизация угла наклона солнечных панелей. Условие: регион  $55^{\circ}$  с.ш.; зимний оптимальный угол –  $60^{\circ}$ , летний –  $30^{\circ}$ . Инсоляция при правильном угле +15. Рассчитайте годовую выработку панелей (10 кВт) с фиксированным углом  $45^{\circ}$  vs сезонной регулировкой.

5. Влияние температуры на КПД оборудования. Условие: летом  $+35^{\circ}\text{C}$  (падение КПД солнечных панелей – 12). Скорректируйте расчеты мощности и емкости для нагрузки 20 кВт·ч/сутки.

6. Экономия топлива за счет сезонной оптимизации. Условие: дизель-генератор: летний расход – 50 л/месяц, зимний – 200 л/месяц. Цена топлива – 60 руб/л. Предложите меры снижения зимнего расхода на 50. Рассчитайте срок окупаемости инвестиций (стоимость системы – 500 000 руб).

7. Учет сезонной нагрузки. Условие: летняя нагрузка – 30 кВт·ч/сутки

(кондиционирование), зимняя – 60 кВт·ч/сутки (обогрев). Сбалансируйте гибридную систему (солнце + ветер + АКБ) для покрытия пиков. Определите мощность резервного генератора.

8. Прогнозирование генерации по историческим данным. Условие: средняя скорость ветра зимой – 8 м/с, летом – 4 м/с. Инсоляция: лето – 5.5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, зима – 2 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Постройте прогноз генерации на год для системы: 30 кВт (солнце) + 15 кВт (ветер). Определите месяцы с максимальным дефицитом энергии.

9. Горный курорт. Условие: летом инсоляция – 6 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, ветер – 3 м/с; зимой: инсоляция – 3 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день, ветер – 10 м/с; нагрузка – 100 кВт·ч/сутки. Спроектируйте гибридную систему с приоритетом ветра зимой и солнца летом. Укажите на схеме точки подключения резервного генератора.

10. Анализ в ПО HOMER. Условие: гибридная система: солнечные панели (20 кВт), ветрогенератор (10 кВт), АКБ (100 кВт·ч). Смоделируйте работу системы для разных сезонов. Определите, как снизить LCOE (Levelized Cost of Energy) на 20

**Практическое занятие 11.** Проектирование системы резервирования для критических объектов.

Цель занятия: сформировать навыки проектирования систем резервирования для объектов с повышенными требованиями к надежности (больницы, ЦОДы, аэропорты), включая выбор источников резервного питания, расчет времени автономии, интеграцию ИБП и генераторов, а также соблюдение нормативов безопасности и отказоустойчивости.

1. Резервирование для больницы. Условие: критическая нагрузка 50 кВт (реанимация, ИВЛ). Требуется 100. Рассчитайте емкость Li-ion аккумуляторов (DoD = 90). Подберите дизель-генератор с автоматическим вводом резерва (АВР).

2. Центр обработки данных (ЦОД). Условие: нагрузка 200 кВт; требуемое время переключения между источниками: <1 сек. Спроектируйте систему на базе ИБП и дизель-генератора. Рассчитайте сечение кабелей для минимизации потерь.

3. Аэропорт: резервные источники. Условие: освещение ВПП 150 кВт. Требования: 100. Подберите гибридную систему (аккумуляторы + генератор). Укажите требования к размещению генератора (шум, выхлопы).

4. Система резервирования с солнечной энергией. Условие: основная нагрузка 30 кВт·ч/сутки. Солнечные панели 15 кВт, инсоляция – 4 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день. Рассчитайте емкость АКБ для резерва на 12 часов (DoD = 80). Определите, какую долю нагрузки нужно передать на генератор зимой.

5. Микросеть для военной базы. Условие: нагрузка: 100 кВт, автономность – 72 часа. Источники: дизель-генератор, ветрогенератор 20 кВт. Спроектируйте систему с приоритетом ВИЭ. Рассчитайте объем топлива для генератора.

6. Банк: бесперебойное питание. Условие: серверы и системы безопасности: 5 кВт, время автономии – 8 ч. Подберите ИБП с двойным преобразованием. Рассчитайте количество свинцово-кислотных АКБ (емкость

одной – 200 А·ч, напряжение 48 В

7. Атомная станция: резервные дизель-генераторы. Условие: требования: 3 независимых генератора (N+2), каждый мощностью 500 кВт. Рассчитайте общий запас топлива на 7 дней (КПД генератора – 35). Укажите требования к системам охлаждения и вентиляции.

8. Гибридная система для метрополитена. Условие: освещение и вентиляция 80 кВт. Резерв аккумуляторы + сеть. Спроектируйте схему резервирования с АВР. Рассчитайте время переключения между источниками.

9. Система для нефтеперерабатывающего завода. Условие: взрывоопасная зона; нагрузка 300 кВт; требования АТЕХ/IECEx. Подберите оборудование с защитой от искрообразования. Укажите на схеме зоны безопасности и пути эвакуации.

10. Телекоммуникационная вышка. Условие: нагрузка 2 кВт, автономность – 7 дней; климат -40°C. Рассчитайте емкость АКБ с учетом падения емкости на 40. Предложите систему подогрева аккумуляторов.

#### **Для текущего контроля ТК5**

ПК-1. Способен участвовать в разработке и эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники, проектировать и внедрять современные автономные энергоустановки и объекты распределенной энергетики

ПК-1.1. Принимает участие в разработке принципиальных схем и оборудования для объектов теплоэнергетики и теплотехники с использованием современных цифровых технологий

ПК-2. Способен к организации технического и материального обеспечения по эксплуатации автономных энергетических систем и ее компонентов

ПК-2.1. Обосновывает технические и материальные потребности при эксплуатации объектов автономной и распределенной энергетики

ПК-4. Способен к организации технического и материального обеспечения мероприятий по совершенствованию технологии производства автономных энергетических систем и их компонентов

ПК-4.1. Выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем и их элементов

#### **Вопросы к комплексному заданию ТК5 (Сбс)**

1. Опишите основные этапы ввода автономной энергоустановки в эксплуатацию.

2. Какие процедуры включает регулярное техническое обслуживание солнечных панелей?

3. Как диагностировать неисправность аккумуляторного банка в системе?

4. Перечислите методы проверки эффективности работы ветрогенератора.

5. Какие инструменты и приборы необходимы для мониторинга АЭУ в полевых условиях?

6. Как рассчитать затраты на обслуживание гибридной системы (солнечная + дизель) за год?

7. Опишите алгоритм действий при аварийном отключении энергии в

автономной системе.

8. Какие экологические риски возникают при утилизации свинцово-кислотных аккумуляторов?

9. Как провести анализ причин снижения КПД солнечных панелей через 5 лет эксплуатации?

10. Какие меры безопасности обязательны при обслуживании дизель-генераторов в АЭУ?

11. Как рассчитать углеродный след автономной системы за жизненный цикл?

12. Опишите методику оценки остаточного ресурса литий-ионных аккумуляторов.

13. Какие документы составляются при плановом ремонте АЭУ?

14. Как минимизировать потери энергии при длительном хранении в аккумуляторах?

15. Рассчитайте срок окупаемости модернизации системы (замена свинцовых АКБ на Li-ion), если стоимость замены – 200 000 руб., а ежегодная экономия – 50 000 руб.

16. Какие нормативы регулируют утилизацию компонентов АЭУ?

17. Опишите, как провести нагрузочное тестирование инвертора.

18. Как организовать систему мониторинга для удаленного контроля за АЭУ?

19. Какие факторы влияют на увеличение эксплуатационных расходов гибридной системы?

20. Как подготовить АЭУ к работе в условиях экстремальных температур (например,  $-40^{\circ}\text{C}$ )?

21. Опишите процедуру калибровки контроллера заряда МРРТ.

22. Какие меры принимают для защиты АЭУ от грозовых перенапряжений?

23. Как оценить экономическую эффективность перехода с дизель-генератора на гибридную систему?

24. Кейс-вопрос: Предложите план восстановления работы АЭУ после урагана, повредившего ветрогенератор и часть солнечных панелей.

25. Опишите современные подходы к цифровизации процессов эксплуатации АЭУ (например, цифровые двойники).

### **ПЗ Комплект задач и заданий. ТК-5.**

**Практическое занятие 12.** Расчет срока окупаемости АЭУ с учетом капитальных и эксплуатационных затрат.

Цель занятия: анализ экономической эффективности автономных энергоустановок (АЭУ) на основе расчета срока окупаемости, учитывая капитальные затраты, эксплуатационные расходы, тарифы на электроэнергию и внешние факторы (субсидии, изменение цен на оборудование).

1. Базовая солнечная система для жилого дома. Условие: капитальные затраты 500 000 руб. (солнечные панели 5 кВт, инвертор, АКБ); ежегодная экономия: 60 000 руб. (снижение платы за электроэнергию); эксплуатационные расходы: 10 000 руб./год. Рассчитайте простой срок окупаемости (без учета

инфляции).

2. Влияние роста тарифов на электроэнергию. Условие: исходные данные капитальные затраты – 800 000 руб., годовая экономия – 80 000 руб; тарифы растут на 5% ежегодно. Определите срок окупаемости с учетом роста экономии.

3. Гибридная система (солнце + ветер). Условие: капитальные затраты 1,2 млн руб.; эксплуатационные расходы 50 000 руб./год; годовая экономия 150 000 руб. (замена дизеля). Рассчитайте срок окупаемости. Сравните с вариантом использования только дизеля (расход топлива — 200 000 руб./год).

4. Учет государственных субсидий. Условие: стоимость системы 700 000 руб; субсидия: 30% от стоимости; годовая экономия: 90 000 руб. Пересчитайте срок окупаемости с учетом субсидии.

5. Ветрогенератор для фермы. Условие: капитальные затраты 1,5 млн руб. ежегодная экономия 200 000 руб. (замена сетевой энергии). эксплуатационные расходы: 20 000 руб./год. Определите, окупится ли система за 8 лет.

6. Анализ чувствительности к изменению цен. Условие: исходные данные: капитальные затраты – 600 000 руб., экономия – 70 000 руб./год. Варианты: снижение стоимости оборудования на 15%; рост тарифов на электроэнергию на 7% в год. Рассчитайте срок окупаемости для каждого сценария.

7. Система с аккумуляторами для магазина. Условие: капитальные затраты 400 000 руб; эксплуатационные расходы 15 000 руб./год; экономия: 50 000 руб./год (снижение потерь при отключениях). Определите срок окупаемости. Предложите меры для его сокращения.

8. МикроГЭС для удаленного поселка. Условие: стоимость проекта: 2 млн руб.; ежегодная экономия: 300 000 руб. (отказ от закупки дизеля); срок службы: 20 лет. Рассчитайте срок окупаемости и ROI (Return on Investment).

9. Влияние срока службы оборудования. Условие: солнечная система стоимость – 600 000 руб., срок службы – 15 лет; экономия: 50 000 руб./год. Определите, какой срок окупаемости допустим для рентабельности.

10. Промышленный объект. Условие: капитальные затраты: 5 млн руб. (солнечные панели 50 кВт, АКБ); эксплуатационные расходы: 200 000 руб./год; экономия: 800 000 руб./год (снижение потребления из сети); льготы: ускоренная амортизация (срок службы – 10 лет). Рассчитайте срок окупаемости с учетом амортизации.

**Практическое занятие 13.** Анализ экологического эффекта: снижение углеродного следа объекта.

Цель занятия: сформировать навыки расчета углеродного следа объекта, анализа источников выбросов CO<sub>2</sub> и разработки мероприятий по их сокращению с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), энергоэффективных технологий и углеродных компенсаций.

1. Расчет базового углеродного следа жилого дома. Условие: годовое потребление электроэнергии – 4000 кВт·ч, отопление – 5 тонн угля. Рассчитайте выбросы CO<sub>2</sub> (углеродный коэффициент: уголь – 2,76 кг CO<sub>2</sub>/кг, электроэнергия – 0,5 кг CO<sub>2</sub>/кВт·ч). Предложите замену угля на пеллеты (0,15

кг CO<sub>2</sub>/кг).

2. Снижение выбросов за счет солнечных панелей. Условие: завод потребляет 100 000 кВт·ч/год. Установлены солнечные панели (30 кВт, инсоляция – 4,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день). Рассчитайте сокращение выбросов CO<sub>2</sub> за год. Определите долю ВИЭ в энергобалансе.

3. Оптимизация логистики предприятия. Условие: грузоперевозки 10 000 км/месяц (дизель, 30 л/100 км). Рассчитайте выбросы CO<sub>2</sub> (2,68 кг/л). Предложите переход на электромобили (0,05 кг CO<sub>2</sub>/кВт·ч, расход – 20 кВт·ч/100 км).

4. Внедрение энергоэффективного освещения. Условие: офис: 100 ламп накаливания (60 Вт) → замена на LED (10 Вт). Работа – 10 ч/день. Рассчитайте годовое снижение выбросов CO<sub>2</sub> (энергия из сети – 0,5 кг CO<sub>2</sub>/кВт·ч).

5. Учет углеродных компенсаций. Условие: авиаперелет 5000 км, выбросы – 0,18 кг CO<sub>2</sub>/пасс.-км. Рассчитайте углеродный след. Определите, сколько деревьев нужно посадить для компенсации (1 дерево – 20 кг CO<sub>2</sub>/год).

6. Анализ цикла жизни продукта

Условие: производство 1 тонны бетона: 800 кг CO<sub>2</sub>. Альтернатива: «зеленый» бетон – 400 кг CO<sub>2</sub>/тонна. Рассчитайте сокращение выбросов при выпуске 10 000 тонн. Оцените экономию при стоимости квот – 5000 руб./тонна CO<sub>2</sub>.

7. Сельское хозяйство: метан и CO<sub>2</sub>. Условие: ферма КРС 100 голов. Выбросы метана – 120 кг/год/голова (1 кг CH<sub>4</sub> = 25 кг CO<sub>2</sub>-эквивалента). Пересчитайте выбросы в CO<sub>2</sub>-эквиваленте. Предложите биогазовую установку для утилизации навоза (снижение метана на 70%).

8. Сравнение энергоисточников. Условие: объект потребляет 50 000 кВт·ч/год. Варианты: сеть (0,5 кг CO<sub>2</sub>/кВт·ч); солнце (0,05 кг CO<sub>2</sub>/кВт·ч); газ (0,2 кг CO<sub>2</sub>/кВт·ч. Постройте график выбросов для каждого варианта.

9. Водородная энергетика. Условие: завод заменяет 1000 л дизеля (2,68 кг CO<sub>2</sub>/л) на водород (0 кг CO<sub>2</sub> при получении из ВИЭ). Рассчитайте снижение выбросов. Определите объем водорода (энергетическая ценность: 1 кг – 33,3 кВт·ч).

10. Нулевой углеродный след. Условие: отель: 200 000 кВт·ч/год, газ – 50 000 м<sup>3</sup> (1,96 кг CO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>), транспорт – 5000 л бензина/год. Разработайте план перехода на «ноль выбросов» (солнце, ветер, электромобили). Рассчитайте инвестиции и срок окупаемости.

**Практическое занятие 14.** Диагностика неисправностей в АЭУ на основе данных мониторинга

Цель занятия: сформировать навыки анализа данных мониторинга автономных энергоустановок (АЭУ) для выявления и устранения неисправностей, включая диагностику компонентов (солнечные панели, ветрогенераторы, аккумуляторы), интерпретацию графиков и показателей, а также разработку алгоритмов поиска сбоев.

1. Падение выработки солнечных панелей. Условие: график выработки панелей (10 кВт) показывает снижение на 30% в течение недели. Инсоляция

стабильна ( $5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2/\text{день}$ ). Определите возможные причины (загрязнение, деградация, обрыв цепи). Предложите методы проверки (тепловизионный анализ, замер напряжения).

2. Низкий КПД ветрогенератора. Условие: ветрогенератор (5 кВт) при скорости ветра 8 м/с выдает только 2 кВт. Данные: вибрация ротора выше нормы. Выявите причины (дисбаланс лопастей, износ подшипников). Рассчитайте потери энергии и предложите ремонтные работы.

3. Быстрый разряд аккумуляторов. Условие: аккумуляторный банк (100 кВт·ч) разряжается за 6 часов при нагрузке 10 кВт. DoD = 70%. Определите, связана ли проблема с емкостью АКБ или КПД инвертора. Проверьте данные балансировки ячеек и температуру.

4. Перегрев инвертора. Условие: инвертор (10 кВт) отключается каждые 2 часа работы. Данные мониторинга: температура корпуса –  $80^\circ\text{C}$ . Проанализируйте причины (перегрузка, плохая вентиляция, неисправность охлаждения). Рассчитайте необходимую площадь радиатора для теплоотвода.

5. Нестабильное напряжение в сети. Условие: напряжение в микросети колеблется от 200 В до 250 В; нагрузка: 15 кВт. Определите источник проблемы (неисправность стабилизатора, дисбаланс фаз). Предложите схему подключения ИБП для сглаживания скачков.

6. Ложные срабатывания защиты. Условие: автоматический выключатель отключается при нагрузке 8 кВт (номинал – 10 кВт). Проверьте ток утечки, сопротивление изоляции кабелей. Смоделируйте нагрузку в ПО (ETAP, MATLAB).

7. Снижение эффективности заряда АКБ. Условие: аккумуляторы заряжаются до 80% за 4 часа вместо 3. Данные: напряжение заряда падает до 13 В (номинал – 14.4 В). Определите неисправность (износ батарей, неисправность контроллера заряда). Рассчитайте время замены АКБ на основе циклов заряда.

8. Шум в данных датчиков. Условие: показания тока и напряжения имеют случайные пики. Система мониторинга фиксирует артефакты. Предложите фильтрацию данных (скользящее среднее, медианный фильтр). Определите, связан ли шум с помехами в цепи или неисправностью датчиков.

9. Отказ резервного генератора. Условие: дизель-генератор (30 кВт) не запускается при отключении сети. Данные: низкий уровень масла, ошибка стартера. Составьте чек-лист диагностики (топливо, аккумулятор, система зажигания). Рассчитайте время восстановления работы.

10. Комплексный сбой системы. Условие: АЭУ (солнце + ветер + АКБ) перестала подавать энергию. Данные: нулевая выработка, напряжение на шине – 0 В. Проведите поэтапную диагностику (проверка предохранителей, замыканий, связи контроллеров). Постройте схему поиска неисправностей.

### **Примерные темы курсовых проектов. ТК-5**

1. Проектирование автономной солнечно-дизельной системы для удаленного поселка.

2. Оптимизация ветро-солнечной гибридной установки для сельскохозяйственного объекта.

3. Разработка микроГЭС с аккумуляторными накопителями для горных регионов.
4. Система автономного энергоснабжения на базе биогаза для животноводческого комплекса.
5. Расчет и проектирование автономной энергоустановки для телекоммуникационной вышки.
6. Использование водородных топливных элементов в гибридных системах: анализ эффективности.
7. Проектирование мобильной автономной энергоустановки для полевых экспедиций.
8. Оптимизация работы солнечных панелей с трекерами для повышения КПД.
9. Система резервного питания для медицинского учреждения на базе ВИЭ.
10. Анализ эффективности геотермальных источников в гибридных энергосистемах.
11. Проектирование энергонезависимого умного дома с использованием AI для управления нагрузками.
12. Расчет автономной системы для электроснабжения фермы аквакультуры.
13. Использование суперконденсаторов в системах краткосрочного хранения энергии.
14. Проектирование ветродизельной системы для полярных станций.
15. Анализ влияния климатических условий на выбор компонентов АЭУ.
16. Разработка гибридной системы для зарядки электромобилей в удаленных районах.
17. Моделирование микросети на базе солнечной энергии и накопителей для жилого комплекса.
18. Энергоснабжение туристического лагеря: комбинация солнечных панелей и биоустановок.
19. Система управления энергопотоками в гибридной установке на байесовских сетях.
20. Проектирование АЭУ для обеспечения работы опреснительной установки.
21. Сравнение Li-ion и свинцово-кислотных аккумуляторов в автономных системах.
22. Использование блокчейн-технологий для учета энергопотребления в микросетях.
23. Проектирование автономной системы для освещения городской инфраструктуры.
24. Анализ устойчивости АЭУ к экстремальным погодным условиям (ураганы, наводнения).
25. Энергоснабжение роботизированных теплиц на базе гибридных источников.
26. Система рекуперации энергии в автономных промышленных

установках.

27. Проектирование энергоустановки для майнинговой фермы с использованием ВИЭ.

28. Оптимизация размещения ветрогенераторов в прибрежной зоне.

29. Разработка алгоритма адаптивного управления нагрузками в гибридной системе.

30. Анализ жизненного цикла АЭУ: от проектирования до утилизации компонентов.

### **Для промежуточной аттестации:**

*Перечень экзаменационных вопросов:*

1. Автономной энергоустановки (АЭУ). Классификация АЭУ по типу источников энергии.

2. Компоненты АЭУ и их функции.

3. Принцип работы инвертора в автономной системе.

4. Виды аккумуляторов в АЭУ. Преимущества и недостатки.

5. Нормативные документы проектирования АЭУ.

6. Риски отсутствия резервирования в системе.

7. Контроллер заряда в АЭУ.

8. Климатические условия и выбор компонентов АЭУ.

9. «Коэффициент автономности» системы.

10. Этапы монтажа и ввода в эксплуатацию АЭУ.

11. Принцип работы гибридной энергоустановки.

12. Требования безопасности АЭУ.

13. Виды возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

14. Технология преобразования солнечной энергии в электрическую.

15. КПД солнечных панелей.

16. Принцип работы ветрогенератора с вертикальной осью вращения.

17. Расчет мощности ветроустановки.

18. Биогаз в АЭУ.

19. Преимущества и недостатки микроГЭС.

20. Аккумуляторы в системах с ВИЭ.

21. Технология хранения энергии с использованием водорода.

22. «Баланс системы» (BOS) солнечных электростанций.

23. Выбор типа ВИЭ.

24. «Умная сеть» (Smart Grid) применительно к АЭУ.

25. Экологические аспекты проектировании систем с ВИЭ.

26. Этапы проектирования АЭУ.

27. Критерии выбора оборудования для АЭУ.

28. ПО HOMER в проектировании гибридных систем.

29. Методика расчета суточного энергопотребления объекта.

30. Оптимизация соотношения солнечных панелей и дизель-генератора в гибридной системе.

31. Пиковая нагрузка и её учет при проектировании.

32. Принцип работы программы PVsyst для моделирования солнечных

систем.

33. Расчет срока окупаемости АЭУ.

34. Данные необходимые для создания 3D-модели АЭУ в AutoCAD.

35. Методы диагностики неисправностей в автономных системах.

36. Выбор инвертора для системы с переменной нагрузкой.

37. Алгоритм балансировки энергопотоков в гибридной установке.

38. Анализ жизненного цикла АЭУ.

39. Геотермальная энергия в гибридных автономных системах: преимущества и ограничения.

40. Методы машинного обучения для оптимизации режимов работы гибридных АЭУ.

### **Билет 1**

1. Основные компоненты автономной энергоустановки и их функции.

2. Преимущества и недостатки гибридных систем (солнечная + ветровая энергия).

3. Рассчитайте мощность солнечных панелей для дома с суточным потреблением 15 кВт·ч (КПД системы – 80%, теплоизоляция – 4,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день).

### **Билет 2**

1. Принцип работы контроллера заряда в АЭУ.

2. Критерии выбора оборудования для проектирования АЭУ?

3. Определите количество ветрогенераторов мощностью 5 кВт каждый для обеспечения энергии фермы (среднесуточная нагрузка – 50 кВт·ч, КПД ветрогенератора – 25%).

### **Билет 3**

1. Технология преобразования биогаза в электроэнергию.

2. Нормативные документы регулирующие проектирование автономных энергосистем.

3. Смоделируйте в HOMER гибридную систему (солнце + дизель) для объекта с нагрузкой 20 кВт·ч/сутки. Укажите оптимальное соотношение компонентов.

### **Билет 4**

1. В чем отличие автономных систем для бытовых и промышленных объектов?

2. Почему аккумуляторы необходимы в системах с ВИЭ?

3. Рассчитайте ёмкость аккумуляторного банка для обеспечения 3 суток автономии при нагрузке 10 кВт·ч/день (глубина разряда – 50%, КПД инвертора – 90%).

### **Билет 5**

1. Гибридная энергоустановка.

2. Этапы проектирования АЭУ.

3. Рассчитайте годовую выработку энергии ветрогенератора мощностью 10 кВт при средней скорости ветра 6 м/с (плотность воздуха – 1,225 кг/м<sup>3</sup>, КПД – 35%).

### **Билет 6**

1. Факторы влияющие на эффективность солнечных панелей.
2. Классификация автономных систем по типу источников энергии.
3. Подберите инвертор для системы с пиковой нагрузкой 8 кВт и постоянной нагрузкой 2 кВт.

#### **Билет 7**

1. Для чего используется ПО PVsyst при проектировании АЭУ?
2. Термин «баланс системы» (BOS) в контексте ВИЭ.
3. Определите суточное энергопотребление объекта, если известно: холодильник (200 Вт, 24 ч), освещение (500 Вт, 5 ч), насос (1 кВт, 2 ч).

#### **Билет 8**

1. Риски возникающие при отсутствии резервирования в АЭУ.
2. Географические условия влияющие на выбор типа АЭУ.
3. Рассчитайте площадь солнечных панелей для выработки 30 кВт·ч/день (КПД панели – 18%, инсоляция – 5 кВт·ч/м<sup>2</sup>/день).

#### **Билет 9**

1. Что такое «умная сеть» (Smart Grid) в контексте автономных систем?
2. Этапы монтажа автономной энергоустановки.
3. Определите срок окупаемости солнечной электростанции стоимостью 500 000 руб., если годовая экономия на энергии – 80 000 руб.

#### **Билет 10**

1. Данные необходимы для моделирования АЭУ в программе HOMER.
2. Опишите принцип работы ветрогенератора с горизонтальной осью вращения.
3. Рассчитайте мощность дизель-генератора для резервирования гибридной системы с пиковой нагрузкой 15 кВт (коэффициент запаса – 1,2).