



Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
д.т.н. проф.  Драгунов В.К.



«» _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

специальной дисциплины 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

Профиль: Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы – минимум кандидатского экзамена по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является изучение и исследование связей и закономерностей в области расчетов оптимальных параметров и режимов, проектирования, управления, монтажа и эксплуатации энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и подготовка аспиранта к сдаче кандидатского экзамена.

Задачами дисциплины являются:

- изучить устройство гидравлических, солнечных и ветроэнергетических установок разных типов;
- изучить энергетические характеристики гидравлических, солнечных и ветроэнергетических установок разных типов и влияние на них внешних факторов;
- изучить особенности работы энергоустановок на основе ВИЭ;
- освоить методы объединения энергоустановок на основе ВИЭ в энергетические комплексы;
- освоить методы интеграции энергоустановок на основе ВИЭ в электроэнергетические системы;
- изучить особенности проектирования, управления, монтажа и эксплуатации энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов на основе ВИЭ;
- овладеть методами расчета оптимальных параметров и состава оборудования электростанций и энергетических комплексов на основе ВИЭ;
- овладеть методами расчета оптимальных режимов работы энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов на основе ВИЭ.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент». Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Формула специальности

Энергетические системы и комплексы – научная специальность, объединяющая исследования по городским, региональным и государственным и других видов обособленности энергетическим системам и комплексам во взаимосвязи их составляющих частей и компонентов между собой и окружающей средой. В рамках специальности, на основе системного подхода, совершенствуются существующие энергетические системы, прорабатываются перспективные структуры энергетических систем и комплексов, разрабатываются новые методы исследования и оценки качества энергетических систем и комплексов с целью повышения их экономичности, надежности, безопасности и снижения вредного воздействия на окружающую среду.

Области исследований

1. Разработка научных основ (подходов) исследования общих свойств и принципов функционирования и методов расчета, алгоритмов и программ выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы энергетических систем, комплексов, энергетических установок на альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии в целом и их основного и вспомогательного оборудования.

2. Математическое моделирование, численные и натурные исследования физико-химических и рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках на альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии, их основном и вспомогательном оборудовании и общем технологическом цикле производства электрической и тепловой энергии.

3. Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий и оборудования для производства электрической и тепловой энергии, использования альтернативных топлив и возобновляемых видов энергии, водоподготовки и водно-химических режимов, способов снижения негативного воздействия на окружающую среду, повышения надежности и ресурса элементов энергетических систем, комплексов и входящих в них энергетических установок.

4. Разработка научных подходов, методов, алгоритмов, технологий конструирования и проектирования, контроля и диагностики, оценки надежности основного и вспомогательного оборудования энергетических систем, станций и энергокомплексов и входящих в них энергетических установок.

5. Разработки и исследования в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии, при транспортировке тепловой, электрической энергии и энергоносителей в энергетических системах и комплексах.

6. Теоретический анализ, экспериментальные исследования, физическое и математическое моделирование, проектирование энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов, функционирующих на основе преобразования возобновляемых видов энергии (энергии водных потоков, солнечной энергии, энергии ветра, энергии биомассы, энергии тепла земли и других видов возобновляемой энергии) с целью исследования и оптимизации их параметров, режимов работы, экономии ископаемых видов топлива и решения проблем экологического и социально-экономического характера.

7. Исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем, комплексов и установок на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования.

Отрасль науки

- Технические науки.

Введение

Источники возобновляемых видов энергии и их особенности. География энергоресурсов.

Возобновляемые виды энергии и энергоустановки на их основе

Основные понятия и определения в практике исследования и использования возобновляемых видов энергии (ВВЭ). Современное информационное обеспечение для оценки ресурсов ВИЭ. Параметры ВВЭ и методы их измерения. Основные категории потенциалов ВИЭ и методы их расчета. Современное состояние и перспективы использования ВВЭ. Место и значение ВИЭ в современном топливно-энергетическом комплексе мира и России. Технические особенности использования ВИЭ в системах централизованного и децентрализованного энергоснабжения. Экономические аспекты использования ВИЭ.

Модели и технологии использования энергоустановок на основе солнечной энергии

Источники потенциала солнечной энергии. Солнечная радиация: прямая и диффузная. Спектры внеатмосферного и наземного солнечного излучения. Методы измерения солнечной радиации. Методы расчета прихода солнечной радиации на произвольно ориентированную площадку в произвольно взятой ее точке поверхности Земли. Зависимость солнечной радиации от времени года и широты местности. Поглощение в атмосфере (оптическая масса). Оптимальная ориентация приемника солнечного излучения.

Основные категории потенциала солнечной энергии и методы их расчета. Кадастр солнечной энергии. Основные виды солнечных энергоустановок (СЭУ) и станций (СЭС): электроснабжения, горячего водоснабжения, отопления, охлаждения, сушки, опреснения, гидролиза и т.п.

Башенные СЭС. Основная технологическая схема, ее компоненты и энергетические характеристики. Уравнение движения Солнца и гелиостатов. Затенение и блокировка гелиостатов. Коэффициент улавливания приемником солнечной радиации. Тепловой приемник и методы его расчета. Оптимизация системы «концентратор (гелиостаты) – приемник».

СЭС на основе солнечных прудов. Технологическая схема преобразования энергии и ее компоненты. Термальный градиент. Теплоаккумулирующая характеристика солнечных прудов. Методы расчета основных параметров СЭС на основе солнечных прудов.

СЭС с параболическими и параболоцилиндрическими концентраторами: технологическая схема преобразования энергии и ее компоненты. Эффект концентрации излучения. Методы расчета основных параметров.

Фотоэлектрические СЭС. Фотоэлектрическая генерация энергии. Структура солнечных элементов и принципы их работы. Фотоэлектрические свойства цепи и нагрузки фотоэлементов. Основные виды потерь энергии и факторы, влияющие на КПД фотоэлемента. Конструкции солнечных элементов. Основные технические требования к материалам солнечных элементов. Жесткие и гибкие фотоэлементы. Концентраторы излучения, их разновидности и особенности использования. КПД основных типов фотоэлементов. Фотоэлектростанции.

Солнечные коллекторы и их разновидности. Принцип действия, основные конструктивные особенности, КПД солнечных коллекторов. Расчет температурного поля тепловых потерь, отвода тепла, оптического КПД. Селективные покрытия их разновидности и свойства.

Этапы проектирования СЭУ и СЭС. Выбор и обоснование участков строительства. Выбор и обоснование типа и основных параметров СЭС.

Эксплуатационные особенности и режимы различных типов наземных и космических СЭС. Надежность их функционирования. Техно-экономические показатели эксплуатации СЭУ и СЭС.

Модели и технологии использования энергоустановок на основе энергии ветра

Источники потенциала ветровой энергии. Основные характеристики ветра и методы определения. Краткосрочные вариации скорости ветра: турбулентность, порывистость ветра. Максимальная скорость ветра. Энергетические характеристики ветра: мощность и энергия. Влияние орографии местности на формирование ветра: шероховатость местности, формы земной поверхности, препятствия. Методические основы оценки

влияния земной поверхности на скорость ветра. Вертикальный профиль ветра. Характерные функции распределения ветра (распределения Рэля, Вейбулла, Гринцевича и др.). Роза ветров. Высота флюгера. Географические факторы и местные расчетные параметры ветра. Основные категории потенциала ветровой энергии и методы их расчета. Кадастр ветровой энергии. Основные технические схемы использования энергии ветра и их классификация.

Преобразование энергии ветра (элементы аэродинамики). Теория идеального и реального ветрового двигателя. Осевая и подъемная сила, рабочий момент и мощность. Потери энергии. Методы получения энергетических характеристик ветроколеса. Способы установки ветроколеса на ветер. Силы, действующие на ветроколесо при его работе в косом потоке. Гироскопический момент ветроколеса. Способы регулирования частоты вращения ветроколеса и его мощности.

Конструктивные особенности и энергетические характеристики основных элементов ветроэнергетической установки (ВЭУ). Режимы работы ветроколеса. Быстроходность и ее связь с коэффициентом мощности. Подведенная и полезная мощность ветроэнергоустановки. Основные виды потерь энергии. Ветроустановки, предназначенные для производства электроэнергии, тепла, механической энергии и их особенности.

Ветроустановки с горизонтальной осью вращения. Основные элементы конструкции. Одно- и многолопастные системы ВЭУ со стабилизаторами, без него или с дополнительным боковым колесом, с серводвигателем или с самоориентацией. Особенности режимов работы ВЭУ.

Ветроустановки с вертикальной осью вращения. Основные элементы конструкции. Основные типы ВЭУ. Энергетические характеристики ВЭУ разного типа с вертикальной осью вращения.

Баланс энергии ВЭУ. Основные энергетические характеристики. Концентраторы воздушного потока, особенности конструкции, эффективность.

Стандарты ветроэнергетики. Этапы проектирования ветроэлектростанций. Выбор площадки для размещения ВЭУ. Ветромониторинг. Критерии выбора оборудования ВЭУ. Классы безопасности ВЭУ. Климатическое исполнение ВЭУ. Критерии энергоэффективности ВЭУ. Транспорт и монтаж ВЭУ.

Ветроэлектростанция. Схемы оптимального размещения ВЭУ друг относительно друга и ветрового потока с учетом розы ветров. Эффект затенения.

Функциональные элементы системы управления. Требования к системам управления и защиты. Режимы работы ВЭУ. Электромеханические переходные процессы в ВЭУ. Моделирование режимов работы ВЭУ.

Модели и технологии использования энергоустановок на основе гидравлической энергии

Источники потенциала гидроэнергетики: естественные и искусственные водотоки, водохранилища, гидротехнические системы, ледники, подземные воды, приливы и отливы, волны и течения в морях и океанах. Основные гидравлические и энергетические параметры источников потенциала большой и малой гидроэнергетики (МГЭ). Методы измерения напора и расхода воды. Гидрометрические характеристики источника потенциала. Гидрологическая информация и ее особенности для МГЭ. Использование детерминированных и вероятностных методов расчета в гидрологии. Особенности формирования водосборов и водостоков.

Энергия морских волн и течений. Источники потенциала и их особенности. Поверхностные волны на глубокой и мелкой воде (основы теории волнового движения). Энергия и мощность волны и методы ее использования. Идеальные и реальные волны и методы их описания. Энергетический спектр (распределение мощности волны) волн. Методы использования энергии волн при непрерывном волновом движении. Распределение волнового потенциала.

Энергия приливов. Источники потенциала и их особенности. Приливы в открытом океане и вблизи берегов. Приливная волна. Энергетика приливных течений и методы ее расчета. Основные характеристики приливной волны и особенности их изменения во времени и от основных влияющих факторов, методы их расчета. География приливов.

Основные категории потенциала малой гидроэнергетики (включая волны и приливы) и методы их расчета. Вводно-энергетические кадастры гидроэнергетики.

Малые гидроэнергетические установки (ГЭУ) и гидроэлектростанции (ГЭС) различных типов.

Малые ГЭС (МГЭС): классификационные признаки. Основные методы и способы концентрации напора и расхода воды. Основные типы и виды турбин МГЭС, их энергетические характеристики, методы получения. Водоподводящие и водоотводящие сооружения МГЭС и их энергетические характеристики. Нетрадиционные схемы и виды оборудования МГЭС.

Основные типы гидрогенераторов МГЭС. Энергетические характеристики гидрогенераторов. Методы выбора и обоснования основных параметров гидроагрегатов МГЭС.

Аккумуляция энергии

Назначение аккумуляторов энергии и принципы ее накопления: биологический, химический, тепловой, электрической, механический. Основные характеристики.

Энергоаккумулирующие установки (ЭАкУ) и станции (ЭАкС). Гидроаккумулирующие, тепловые, индуктивные, водородные и другие виды аккумуляции энергии. Технологические циклы ЭАкУ и принцип их действия. КПД аккумуляции. Основные энергетические характеристики, методы их получения и расчета. Глубина и скорость заряда-разряда. Длительность цикла аккумуляции. Гарантированное число циклов заряда-разряда. Преобразователи энергии ЭАкУ.

Основные технические схемы преобразования возобновляемых видов энергии

Основные энергетические характеристики преобразования энергии. Методы расчета и измерения основных параметров и характеристик в установившихся и переходных режимах.

Энергетические комплексы (ЭК). Основные схемы ЭК, принципы их работы на автономного потребителя и объединенную энергосистему. Методы расчета основных энергетических параметров ЭК с аккумуляторами энергии разного вида.

Основные этапы проектирования схем установок и станций на базе ВВЭ. Исходная информация, методы ее получения и хранения. Параметры энергоустановок и методы их расчета.

Расчет краткосрочных и длительных режимов работы энергоустановок на базе разных ВВЭ при детерминированной, вероятностной и неопределенной информации для обоснования их проектных параметров. Постановки задачи, методы решения, основные допущения.

Оптимизация структуры генерирующих мощностей локальных и объединенных энергосистем с энергоустановками на базе ВВЭ.

Вопросы для самоконтроля и вопросы, включенные в билеты для проведения экзамена:

1. Классификация возобновляемых источников энергии (ВИЭ).
2. Потенциал ВИЭ, его виды и источники.
3. Сравнительная характеристика свойств различных видов ВИЭ.
4. Методы анализа и прогноза поступления возобновляемых энергоресурсов.
5. Принципы преобразования возобновляемых энергоресурсов в вид, потребляемый промышленностью, сельским хозяйством и коммунальным сектором.
6. Методы определения ресурса солнечной энергии за разные интервалы времени.
7. Методы определения ресурса солнечной энергии в точке и на поверхности Земли с заданными координатами.

8. Физические принципы термодинамического преобразования солнечной энергии, виды термодинамических преобразователей и их характеристики.

9. Физические принципы фотоэлектрического преобразования, виды фотоэлектрических преобразователей и их характеристики.

10. Типы солнечных энергетических установок для производства электроэнергии и тепла.

11. Особенности конструкции фотоэлектрических энергоустановок и режимов их работы в локальных и объединенных энергетических системах.

12. Особенности конструкции солнечных коллекторов и режимы их работы в локальных энергосистемах и на изолированного потребителя.

13. Интеграция солнечных электростанций в объединенные энергосистемы и их работа на оптовом и розничном рынках электроэнергии и мощности.

14. Методы определения ресурса ветровой энергии за разные интервалы времени.

15. Методы определения ресурса ветровой энергии на поверхности Земли с заданными свойствами.

16. Физические принципы преобразования ветровой энергии в электрическую, виды ветроколес и их характеристики.

17. Типы ветряных энергетических установок. Особенности их конструкции.

18. Особенности режимов работы ветроэнергетических установок в локальных и объединенных энергетических системах.

19. Интеграция ветряных электростанций в объединенные энергосистемы и их работа на оптовом и розничном рынках электроэнергии и мощности.

20. Методы определения ресурса гидравлической энергии за разные интервалы времени.

21. Методы определения ресурса естественных и искусственных водотоков и водоемов.

22. Физические принципы преобразования гидравлической энергии в электрическую, виды гидротурбин, применяемых в большой и малой гидроэнергетике, их конструктивные особенности и характеристики.

23. Особенности режимов работы гидроэнергетических установок в локальных и объединенных энергетических системах. Регулирование стока рек.

24. Интеграция гидроэлектростанций (включая малые ГЭС) в

объединенные энергосистемы и их работа на оптовом и розничном рынках электроэнергии и мощности.

25. Особенности использования микро- и пикоГЭС.

26. Способы аккумуляции энергии. Возможные места установки аккумуляторов энергии.

27. Возможности, расчет и оценка эффективности использования электрохимических, емкостных и индуктивных накопителей энергии.

28. Возможности, расчет и оценка эффективности использования механических, гидравлических и пневматических накопителей энергии.

29. Возможности, расчет и оценка эффективности использования накопителей энергии, основанных на производстве энергетического ресурса для новых циклов преобразования энергии.

30. Оптимизация состава и параметров генерирующего оборудования.

31. Оптимизация состава и параметров накопителей энергии.

32. Оптимизация состава и параметров управляемых потребителей энергии.

33. Особенности работы в распределенных энергетических системах.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Требования и критерии оценивания ответов экзамена

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам.

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета;
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Основные характеристики ветра. Ресурсы ветра и методы их расчета: учебное пособие / Дерюгина Г.В., Малинин Н.К., Пугачев Р.В., Шестопалова Т.А. – М.: Издательство МЭИ, 2012 г.

2. Цгоев Р.С. Нетрадиционная ветроэнергетика. пособие / – М.: Издательство МЭИ, 2014 г.

3. Методы расчёта ресурсов возобновляемых источников энергии. Учебное пособие / Бурмистров А.А., Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Кунакин Д.Н., Малинин Н.К., Пугачев Р.В. – М.: Издательство МЭИ, 2-ое изд., 2007, 144 с.

4. Солнечная энергетика. Учебное пособие / Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. – М.: Издательство МЭИ, 2008, 276 с.

5. Альдо В. да Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. Учебное пособие. – М.: Издательство Медиа Формат 2010 г. – 704 с.

6. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике. / Синюгин В.Ю., Магрук В.И., Родионов В.Г., М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2008 г.

7. Дьяконов В.П. Matlab 7. – М.: ДМК Пресс. 2008. – 768 с.

Дополнительная литература:

8. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2010 г.

9. Елистратов В.В. Использование возобновляемой энергии: учебное пособие, СПб: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010. – 224 с.

10. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования

гидроэнергетических установок. / А.Ю. Александровский, Б.И. Силаев, мет. пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007 г.

11. Александровский А.Ю., Силаев Б.И. Обоснование параметров проектируемой ГЭС Методическое пособие по курсу. Издательский дом МЭИ, 2006 г.

12. Гидроэнергетика. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.И. Обрезкова. М.: Энергоатомиздат, 1988.

13. Гидроэлектрические станции / Под ред. В.Я. Карелина и Г.И. Кривченко. М.: Энергоатомиздат, 1987.

14. Виссарионов В.И., Золотов Л.А. Экологические аспекты возобновляемых источников энергии. М.: Изд-во МЭИ, 1996.

15. Накопители энергии / Под ред. Д. А. Бута. М.: Энергоатомиздат, 1991.

16. Васильев Ю.С., Харитонов Н.И. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. Л.: ЛГУ, 1991.

17. Водно-энергетические и водохозяйственные расчеты / Под ред. В.И. Виссарионова. М.: Изд-во МЭИ, 2001.

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение: *(программное обеспечение, на которое кафедра или МЭИ имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение)*

Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

• Университетская информационная система «РОССИЯ» <https://uisrussia.msu.ru>

• Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

• Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

• База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

• База данных Scopus <https://www.scopus.com>

• Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>

• База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ <https://rosmintrud.ru/opendata>

• База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru/>

• База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

• Базы данных Министерства экономического развития РФ
<http://www.economy.gov.ru>

• База открытых данных Росфинмониторинга
<http://www.fedsfm.ru/opendata>

• Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

• Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>

• Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование»
<https://openedu.ru>

• Электронная база данных «Polpred.com Обзор СМИ»
<https://www.polpred.com>

• Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>

• Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Доцент кафедры Гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии,
к.т.н.

П.С. Шуркалов

Заведующий кафедрой Гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии,
к.т.н., доцент

Т.А. Шестопалова

Директор ИГВИЭ,
к.т.н., доцент

Т.А. Шестопалова