

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»



ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по образовательной
деятельности
Е.М. Разинкина
«30» сентября 2019 г.



**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
СПЕЦИАЛЬНАЯ ДИСЦИПЛИНА
ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ
14.06.01 – ЯДЕРНАЯ, ТЕПЛОВАЯ И ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА
И СОПУТСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Направленности (профили):

- 1. Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации*
- 2. Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии*

И.о. директора Института энергетики

Руководитель основных
образовательных программ ИЭ

С.Г. Зверев

А.П. Плотников

г. Санкт-Петербург
2019

1. Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации

Введение

Составлено на основе дисциплин направлений «Ядерная физика и технологии», «Энергомашиностроение», связанных с особенностями анализа нейтронно-ядерных процессов и теплофизики реакторов, синтезом ядерных энергетических установок и основами их безопасной эксплуатации.

Основные разделы

1. Общие вопросы применения ядерной энергии

Ядерная энергетика в энергетическом балансе. Требования к энергетическим технологиям. Перспективы развития ядерной энергетики.

Топливный цикл ядерной энергетики. Технологии и предприятия ядерного топливного цикла. Экологическая и радиационная безопасность.

Проблема нераспространения ядерных материалов. МАГАТЭ и системы международных гарантий. Технические проблемы нераспространения ядерных материалов.

Экономические аспекты использования ядерной энергии. Составляющие издержек производства электроэнергии на АЭС. Снятие АЭС с эксплуатации. Экономические последствия тяжелых аварий. Социальные аспекты развития ядерной энергетики.

2. Основы проектирования и конструирования ядерных энергетических установок

Основы ядерной и нейтронной физики. Состав и характеристики ядер. Закон и характеристики радиоактивного распада. Ядерные реакции и их особенности.

Нейтронный цикл в ядерном реакторе. Эффективный коэффициент размножения нейтронов. Условия критичности. Закономерности формирования пространственно-энергетического распределения нейтронов и удельного выделения энергии.

Кинетика реактора. Роль запаздывающих нейтронов. Критическое и подкритическое состояние реактора. Динамические характеристики, обратные связи, устойчивость и способы регулирования реактора.

Источники и методы регистрации нейтронов, экспериментальные методы измерения сечений нейтронных реакций, размножающих свойств среды и нуклидного состава топлива.

Эффекты реактивности. Выгорание и воспроизводство ядерного топлива. Топливные циклы. Перегрузки топлива. Ядерная безопасность.

Источники ионизирующих излучений в ядерных энергетических установках. Система теплоносителя как источник излучений. Закономерности ослабления ионизирующих излучений в веществе. Радиационное повреждение реакторных материалов.

Тепловые и гидравлические процессы в ядерных энергетических установках. Особенности контура отвода тепла. Теплогидравлический расчет активных зон, охлаждаемых однофазным, двухфазным водным, жидкометаллическим, газовым теплоносителем. Кризис теплообмена. Запасы до кризиса. Максимальные температуры оболочки и топлива. Нестационарные процессы в переходных и аварийных режимах. Термогидравлика основных проектных аварий.

Циклы паротурбинных и газотурбинных установок. Энергетический баланс и КПД ядерных энергетических установок.

Прочность оборудования и трубопроводов ядерных энергетических установок. Статическая прочность. Устойчивость. Циклическая прочность. Хрупкая прочность. Вибропрочность. Расчет на прочность при сейсмических воздействиях. Испытания натурального оборудования и модельных образцов.

Контроль, управление и защита ядерных энергетических установок. Системы контроля нейтронно-физических и теплотехнических параметров. Безопасность и проблема

управления. Защиты по уровню мощности и разгону. Управляющие системы нормальной эксплуатации и безопасности. Взаимодействие «человек – машина».

Основные принципы и критерии обеспечения безопасности. Нормативно-регулирующие документы. Принципы защиты в глубину. Уровни глубоко эшелонированной защиты. Фундаментальные функции безопасности. Принцип единичного отказа. Критерии и условия обеспечения безопасной эксплуатации.

Физические принципы реакторов с естественной безопасностью.

Анализ аварий. Проектные и запроектные аварии. Анализ надежности систем безопасности. Модели систем безопасности. Управление аварией. Вероятностный анализ. Сценарии аварий на АЭС с реакторами ВВЭР, БН, РБМК.

Программные комплексы для нейтронно-физических расчетов, проектных и эксплуатационных расчетов динамики и безопасности, радиационной защиты, для расчетного обоснования прочности, моделирования тяжелых аварий и их последствий.

3. Ядерные энергетические установки

Атомные станции. Типы атомных станций. Основные компоненты и системы энергоблоков АЭС. Судовые и космические ядерные энергетические установки. Передвижные и блочно-транспортные ядерные энергетические установки. Радионуклидные генераторы. Термоядерные реакторы. Гибридные системы синтеза – деления. Классификация ядерных реакторов.

Теплоносители ядерных реакторов. Требования, особенности применения. Водно-химические режимы первого (второго) контура. Технологии жидкометаллических, органических, газовых теплоносителей.

Материалы в реакторостроении. Условия работы и критерии выбора. Теплоустойчивые стали, коррозионно-стойкие стали, циркониевые сплавы, нержавеющие стали, никелевые сплавы, сплавы на основе титана, высокотемпературные сплавы, графит, керамические материалы. Материалы органов управления реактивностью. Материалы замедлителей и отражателей. Материалы защиты.

Ядерное топливо. Конструкционные материалы твэлов и ТВС. Основные требования, характеристики.

Тепловыделяющие элементы и ТВС ядерных реакторов. Основные требования. Типы конструктивных решений. Физико-химические процессы, протекающие в твэлах и ТВС в условиях эксплуатации.

Органы регулирования ядерных реакторов. Назначение, состав, конструкции и функциональное использование. Особенности органов регулирования реакторов различных типов. Использование жидких, газообразных и сыпучих поглотителей.

Корпусные легководные реакторы с водой под давлением и кипящие. Развитие реакторов.

Реакторы ВВЭР-1000, АСТ-500, АТЭЦ, PWR. Реакторы ВК, BWR. Конструкции.

Компоновка оборудования. Системы нормальной эксплуатации. Системы безопасности.

Реакторы на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Развитие реакторов.

Реакторы БН-600, БН-800. Корпус реактора и внутрикорпусные устройства. Активная зона и зона воспроизводства. Технические средства обеспечения безопасности.

Компоновка оборудования.

Канальные водографитовые и тяжеловодные реакторы. Развитие канальных реакторов.

Первая в мире, Сибирская, Белоярская АЭС, Билибинская АТЭЦ. Реакторы РБМК-1000,

РБМК-1500. Металлоконструкции. Активная зона. Контур многократной принудительной

циркуляции. Системы нормальной эксплуатации и системы безопасности. Канальные

тяжеловодные реакторы.

Реакторы, охлаждаемые газом. Развитие реакторов. Реакторы с гелиевым теплоносителем.

Активные зоны из шаровых, стержневых твэлов и призматических блоков.

Ядерные реакторы нового поколения - с водой под давлением, бассейновые, канальные, с жидкометаллическим теплоносителем (натрием, свинцом-висмутом, свинцом),

модульные, охлаждаемые газом с использованием газовой турбины, с циркулирующим топливом, с расплавно-солевым теплоносителем.

Исследовательские реакторы. Физические и конструктивные особенности. Экспериментальные устройства исследовательских реакторов. Стационарные и учебно-исследовательские реакторы.

Теплообменное и сепарационное оборудование реакторных установок. Парогенераторы для АЭС с ВВЭР и PWR, теплообменные аппараты АЭС с БН, ВТГР, сепараторы пара. Основные характеристики.

Насосы ядерных энергетических установок. Главные циркуляционные насосы. Питательные насосы. Конструкция опор, уплотнений вала. Основные характеристики.

Системы перегрузки топлива. Способы перегрузки. Хранилища отработавшего ядерного топлива. Транспортно-технологическое оборудование. Перегрузочные устройства.

Трубопроводы, опоры и опорные конструкции оборудования и трубопроводов. Гидроамортизаторы.

Трубопроводная и регулирующая арматура.

4. Сооружение, монтаж и эксплуатация ядерных энергетических установок

Особенности проектирования и сооружения ядерных энергетических установок. Выбор площадок. Компонировка зданий и сооружений.

Выполнение строительно-монтажных работ. Поставка оборудования. Особенности организации монтажа. Управление качеством. Монтаж реакторов ВВЭР, БН, РБМК. Основные технологические процессы.

Организация и контроль эксплуатации. Установление и корректировка пределов и условий безопасной эксплуатации. Регламентация эксплуатации. Техническое обслуживание и ремонт. Регламентация действий при авариях и в аварийных ситуациях. Показатели работы АЭС. Система ведомственного контроля за эксплуатацией. Федеральный надзор за безопасностью.

Методы эксплуатационной и оперативной диагностики за состоянием металла и оборудования, трубопроводов АЭС. Периодичность эксплуатационного контроля. Системы оперативной диагностики.

Тренажеры для персонала АЭС. Технологические основы их разработки. Полномасштабные и аналитические тренажеры.

Деактивация технологического оборудования, зданий и сооружений. Основные методы и организация деактивации.

Обращение с радиоактивными отходами на АЭС. Переработка радиоактивных вод. Отверждение жидких радиоактивных отходов. Переработка твердых радиоактивных отходов. Обращение с газообразными радиоактивными отходами. Системы газоочистки при запроектных авариях.

5. Управление сроком службы ядерных энергетических установок

Жизненный цикл ядерной энергетической установки и принципы управления сроком службы. Продление срока службы. Вывод из эксплуатации.

Обеспечение и повышение безопасности при продлении эксплуатации. Повреждающие факторы. Технологическая последовательность операций.

Радиоактивные материалы при снятии с эксплуатации ядерных энергетических установок. Транспортировка и хранение топлива. Удаление радиоактивных отходов высокой и средней активности. Деактивация оборудования. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами.

Особенности снятия с эксплуатации судовых ядерных энергетических установок.

Вопросы

1. Топливные циклы, коэффициент возобновления.
2. Продукты деления их особенности и свойства
3. Работа компенсатора объёма при запуске ЯЭУ и в процессе эксплуатации.
4. Преимущества тяжеловодных реакторов.
5. Расхолаживание реактора при остановке ГЦН.
6. Снятие АЭС с эксплуатации
7. Топливный цикл ядерной энергетики.
8. Закон и характеристики радиоактивного распада
9. Нейтронный цикл в ядерном реакторе
10. Особенности контура отвода тепла
11. Кризис теплообмена. Запасы до кризиса.
12. Нестационарные процессы в переходных и аварийных режимах
13. Конструктивные особенности реактора РБМК.
14. Достоинства и недостатки вертикальной и горизонтальной компоновки парогенераторов
15. Остаточное тепловыделение реактора.
16. Коррозия трубных пучков в парогенераторах ЯЭУ.
17. Организационные мероприятия по обеспечению радиационной безопасности на АЭС.
18. Пассивная система безопасности реактора
19. Типы атомных станций.
20. Судовые и космические ядерные энергетические установки
21. Теплоносители ядерных реакторов: требования, особенности применения
22. Конструкции и принцип действия регенеративных теплообменников
23. Испарители и конденсаторы смесительного типа
24. Конструкция градирен, метод расчета
25. Конструкция деаэратора, принцип действия.
26. Способы очистки поверхностей конденсатора
27. Выравнивание графиков нагрузки энергосистем за счет ГАЭС
28. Экспертный метод оценки загрязнения от АЭС
29. Способы утилизации отходов АЭС
30. Методы регистрации нейтронов

Литература

1. Шевелев Я.В., Клименко А.В. Эффективная экономика ядерного топливно-энергетического комплекса. М.: Изд-во РГТУ, 1996.
2. Лебедев В.М. Ядерный топливный цикл: Технологии, безопасность, экономика. - М. Энергоатомиздат, 2005
3. Ганев И.Х. Физика и расчет реактора. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1992.
4. Кириллов П.Н., Богословский Г.П. Теплообмен в ядерных энергетических установках. М.: Энергоатомиздат, 2000.
5. Ганчев Б.Г., Калишевский Л.Л., Демешев Р.С. Ядерные энергетические установки. М.: Энергоатомиздат, 1990.
6. Конструкционные материалы ядерных реакторов / Н.М. Бескорвайный, Б.А. Калинин, П.А. Платонов, И.И. Чернов. М.: Энергоатомиздат, 1995.
7. Самойлов А.Г., Волков В.С., Солонин В.И. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1996.

8. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции. Учебник для вузов. М.: Атомная техника, 1994.
9. Титов В.Ф., Рассохин Н.Г., Федоров В.Г. Парогенераторы атомных электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1992.
10. Иванов В.А. Эксплуатация атомных электростанций. СПб., 1994.
11. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. 2-е изд. / Н.С. Бабаев, В.Ф. Демин, Л.А.
12. Ильин и др. Под ред. Александрова. М.: Энергоатомиздат, 1984.
13. Крицкий В.Г. Проблемы коррозии и водно-химических режимов АЭС. СПб.: Синто, 1996.
14. Тевлин С.А. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000. М: Изд-во МЭИ, 2002.
15. Новиков В.М., Смирнов И.С., Алексеев П.Н. Ядерные реакторы повышенной безопасности (анализ концептуальных разработок). М.: Энергоатомиздат, 1993.
16. Кокорев Б.А., Фарафонов В.А. Парогенераторы ядерных энергетических установок с жидкометаллическим охлаждением. М.: Энергоатомиздат, 1990.
17. Трунов Н.Б., Логвинов С.А., Драгунов Ю.Г. Гидродинамические и теплохимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР. М.: Энергоатомиздат, 2001.
18. Острейковский В.А. Эксплуатация атомных электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1999.
19. Ковалевич О.М. Основы обеспечения безопасности атомных станций. М.: Изд-во МЭИ, 1999.
20. Дементьев Б.А. Ядерные энергетические реакторы: Учебник для вузов – М.: Энергоатомиздат, 1990
21. Дементьев Б.А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов: Учебн. пособие для вузов – М.: Энергоатомиздат, 1986
22. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов: Учебное пособие для вузов / Г.Г. Бартоломей, Г.А. Бать, В.Д. Байбаков, М.С. Алхутов; Под ред. Г.А. Батя - М.: Энергоатомиздат, 1982
- 23 Саркисов, А.А. Основы теории и эксплуатации судовых ядерных реакторов / А.А. Саркисов, Л.Б. Гусев, Р.И. Калинин ; Российская академия наук, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики; под ред. А. А. Саркисова.– М. : Наука, 2008.– 397 с.
- 24 Саркисов А.А. Инженерные основы теории и эксплуатации судовых ядерных реакторов : учебное пособие для вузов по направлению подготовки "Техническая физика" / А. А. Саркисов , Л. Б. Гусев, Р. И. Калинин ; под ред. А. А.Саркисова.– М. : МЭИ, 2011.– 548, [9] с.
- 25 Емельянов И.Я., Михан В.И. и др. Конструирование ядерных реакторов : Учебное пособие под ред. акад. Н.А. Доллежалы.– М.: Энергоиздат, 1982.–398 с.

2. Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

Введение

Составлено на основе дисциплин направлений «Энергомашиностроение» и «Электроэнергетика», связанных с особенностями анализа принципов использования возобновляемых видов энергии, синтеза и оптимального использования энергоустановок на их основе.

Основные разделы

1. Возобновляемые виды энергии и энергоустановки на их основе

Источники возобновляемых видов энергии и их особенности. География энергоресурсов. Основные понятия и определения в практике исследования и использования возобновляемых видов энергии. Параметры возобновляемых видов энергии и методы их измерения. Расчеты основных категорий потенциала. Современное состояние и перспективы использования возобновляемых видов энергии.

2. Принципы использования солнечной энергии

Основные понятия и определения. 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 горизонтальную и произвольно ориентированную площади на поверхности Земли в произвольно взятой ее точке. Зависимость солнечной радиации от времени и широты местности. Продолжительность дня с солнечным излучением, поглощение в атмосфере (оптическая масса). Оптимальная ориентация приемника солнечного излучения.

Основные категории потенциала солнечной энергии и методы их расчета. Кадастр солнечной энергии. Современное состояние и перспективы использования солнечной энергии в мире.

Основные виды солнечных энергоустановок (СЭУ) и систем наземного и космического назначения (станции СЭС). Системы солнечного электроснабжения, горячего водоснабжения, отопления, охлаждения, сушки, опреснения, гидролиза и т. п.

Башенные СЭС. Основная технологическая схема, ее компоненты и их 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.

Системы солнечного горячего водоснабжения и отопления. Схемы и элементы. Методы расчета систем солнечного теплоснабжения (ССТ). Аккумуляция тепла в ССТ. Краткосрочная и длительная аккумуляция тепла. Методы расчета характеристик ССТ. Принцип действия, конструктивные особенности и методы расчета подогревателей воды и воздуха, сушилок, кондиционеров, холодильников, опреснителей воды на базе ССТ.

Пассивные солнечные системы (ПСС). Основные типы и их особенности. Пассивные солнечные системы с непосредственным обогревом помещений (солнечные окна, оранжереи, теплицы, прозрачная крыша), с обогревом пассивного элемента вне помещения (стена Тромба, термопруды, контейнеры с водой на крыше зданий и т. п.). Энергетические характеристики ПСС. Аккумуляция тепла элементами зданий и конструкций. Использование пристроенных и встроенных теплиц в качестве приемников солнечного тепла.

Космические СЭС (КСЭС). Основные схемы преобразования и концентрации солнечного излучения на КСЭС (фотоэлектрические, машинные и прямые преобразования энергии Солнца). Достоинства и недостатки схем. Проблемы сооружения КСЭС и передачи энергии на Землю. Перспективные системы передачи энергии с КСЭС на Землю (СВЧ-излучение, лазерный луч).

3. Энергия ветра и источники на ее основе

Основные понятия и определения. Источники потенциала ветровой энергии. Преобразования энергии ветра. Ветроэнергетические установки (элементы аэродинамики). Основные характеристики ветра и методы их определения. Зависимость параметров ветра от высоты и времени. Характерные функции распределения ветра (распределения Рэля, Вейбулла–Гудрича 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.

Теория идеального и реального ветрового двигателя. Основные положения и допущения. Осевая или подъемная сила. Рабочий момент и мощность. Потери энергии ветродвигателя. 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. Режимы работы ветроколеса. Быстроходность и ее связь с коэффициентом мощности. Подведенная и полезная мощность ветроэнергоустановки с вертикальной и горизонтальной осями. 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 разных видов ВЭУ.

Конструкции редуктора и генератора, их энергетические характеристики.

Баланс энергии в ВЭУ. Основные энергетические характеристики. Расчетные скорости: минимальная, рабочая, максимальная. Концентраторы воздушного потока, их эффективность, особенности их конструкции.

Ветроустановки с вертикальной осью вращения. Основные элементы конструкции. Одно- и многоярусные системы. Преимущества и недостатки. Основные типы ВЭУ. Энергетические характеристики ВЭУ разного типа с вертикальной осью вращения.

Ветроэлектростанция (ВЭС), или ветропарк. Основные принципы оптимального использования энергopotенциала ветра в заданном регионе. Схемы оптимального размещения ВЭУ относительно друг друга и ветрового потока с учетом розы ветров в регионе. Эффект затемнения в ветропарке.

4. Использование энергии перемещения водных потоков

Основные принципы использования энергии воды. Источники потенциала гидроэнергетики: естественные и искусственные водотоки и водохранилища, водохозяйственные и другие гидротехнические системы, ледники, подземные воды, приливы и отливы, волны и течения в морях и океанах. Традиционная и нетрадиционная (малая) гидроэнергетика и их особенности. Основные гидравлические и энергетические параметры источников потенциала малой гидроэнергетики (МГЭ). Методы измерения напора и расхода воды. Гидрометрические характеристики источника потенциала МГЭ. Гидрологическая информация МГЭ и ее особенности по сравнению с информацией традиционной гидроэнергетики. Использование детерминированных и вероятностных методов расчета в гидрологии МГЭ. Особенности формирования водосборов и водостоков в МГЭ.

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. География волн на Земле.

Энергия приливов. Источники потенциала и их особенности. Влияние Солнца и Луны на приливы. Прилив 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. Лунный месяц. 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, включая волновые энергоустановки (ВлЭУ) или электростанции (ВлЭС), а также приливные электростанции (ПЭС).

Малые ГЭС: классификационные признаки. Основные методы и способы концентрации напора и расхода воды. Основные типы и виды турбинного оборудования МГЭС. Его энергетические характеристики, методы их получения и расчета. Модельные и натурные испытания гидроагрегатов. Нетрадиционные схемы и виды оборудования МГЭС. Водоподводящие и водоотводящие сооружения МГЭС и их энергетические характеристики.

Основные типы гидрогенераторов МГЭС (на постоянном и переменном токе, синхронные и асинхронные). Энергетические характеристики гидрогенераторов. Методы выбора и обоснования основных параметров гидроагрегатов МГЭС.

Волновые электростанции (ВлЭС). Основные типы и схемы ВлЭС: устройства, отслеживающие профиль волны, использование колеблющегося водяного столба; системы улавливающие волны; надводные и подводные устройства. Методы расчета подведенной и полезной мощности ВлЭУ и ВлЭС. Основные энергетические характеристики элементов ВлЭУ и методы их расчета.

Приливные электростанции (ПЭС). Энергия и мощность приливных течений и приливного подъема – спада воды. Методы расчета скорости и мощности приливных течений и приливного подъема – спада воды. Сизигийный и квадратурный прилив. Энергия прилива за лунный месяц. Перспективные районы и схемы использования энергии приливов: одно- и многобассейновые; с обратимыми и необратимыми агрегатами;

с гидравлической аккумуляцией энергии. Методы выбора и обоснования основных параметров оборудования ПЭС.

5. Источники на основе геотермальной энергии

Геотермальная энергия, основные понятия и определения. Источники потенциала геотермальной энергии (ГеоТЭ). Основы геофизики. Тепловое поле Земли. Методы излучения геотермальных ресурсов и их классификация. Системы извлечения геотермальных ресурсов и их классификация. Сухие скальные породы и естественные водоносные пласты (термальные воды и парагидротермы). География геотермального тепла Земли. Методы расчета теплосодержания глубинных пород Земли. Потенциал геотермальной энергии и методы его расчета. Современное состояние и перспективы использования геотермальной энергии в мире.

Геотермальные энергоустановки (ГеоТЭУ) и электростанции (ГеоТЭС). Использование геотермальной энергии: возможности и потребности. Техника извлечения тепла Земли. Основные схемы технологического процесса на ГеоТЭС: цикл с одним рабочим телом, цикл с двумя рабочими телами, прямой паровой и двухконтурный циклы. Схемы утилизации отработанного рабочего тепла ГеоТЭС. Виды рабочего тела и их особенности. Методы выбора и обоснования основных параметров оборудования ГеоТЭС. Энергетические характеристики ГеоТЭС, методы их изучения и расчета. Особенности энергетического оборудования ГеоТЭС.

6. Биомасса как источник энергии

Энергия биомассы. Основные понятия и определения. Источник потенциала биомассы и ее география. Классификация биотоплива. Влага, плотность и содержание углерода в биомассе. Основные типы энергопроцессов, связанных с переработкой биомассы: термохимические, биологические, агрохимические. Производимое из биомассы биотопливо. Технология преобразования: сжигание, пиролиз, сбраживание, анаэробное разложение и т.п. Удельная потенциальная величина урожайности биомассы различных культур. Основы фотосинтеза. Современное состояние и перспективы использования энергии биомассы в мире.

Биоэнергетические установки (БиоЭУ). Классификация БиоЭУ по типу энергетических процессов, связанных с переработкой биомассы. Основные элементы технологического процесса, их энергетические характеристики и методы их получения и расчета.

Технологические процессы переработки биомассы, основанные на термохимических методах. Сжигание топлива для получения тепла, приготовление пищи и обогрев жилищ, сушка технических культур, сжигание отходов, производство тепла и электроэнергии. КПД установок. Пиролиз и сухая перегонка сырья для пиролиза и его ресурсы. КПД пиролиза. Твердый остаток (древесный уголь). Сепарация жидкостей и газов (газификация). Другие термохимические процессы: гидрогенерация; гидрогенерация с применением СО и пара; гидролиз под воздействием кислот и ферментов; метиловый спирт в качестве топлива.

Технологические процессы, основанные на биохимических методах.

Спиртовая ферментация, или брожение. Методы получения этилового спирта (этанол) из сахарного тростника, сахарной свеклы, растительного крахмала, целлюлозы. Выход этанола из различных культур. Этанол в качестве топлива в двигателе внутреннего сгорания. Анаэробное сбраживание или разложение. Необходимые условия реализации. Биогаз как смесь CH_4 и CO_2 . Основное уравнение анаэробного сбраживания. Методы расчета основных параметров биогазогенераторов и его энергетические характеристики. Агрохимические методы получения топлива в процессе жизнедеятельности растений. Недостатки и достоинства методов.

7. Использование низкотемпературного тепла

земли, воды, воздуха

Основные понятия и определения. Источники потенциала и география. Тепловой баланс Земли. Естественные источники и поглотители теплоты. Производство теплоты в мире. Рассеивание теплоты: механизмы теплопередачи. Прямоточное охлаждение. Градирни. Методы утилизации сбросной теплоты. Качество теплоты и ее транспорт.

Потенциал низкотемпературного тепла земли, воды и воздуха в мире и основные влияющие на него факторы. Методы его расчета. Современное состояние и перспективы использования низкотемпературного тепла земли, воды и воздуха в мире. Океанические тепловые электростанции (ОТЭС). Принцип работы ОТЭС. Допустимая разность температур. Технологическая схема и энергетические характеристики ОТЭС.

Теплонасосные установки (ТНУ). Тепловые насосы, принципы их работы и использования. Источники низкотемпературного тепла: воздух окружающей среды, вентиляционный воздух, тепло грунта, стоячие воды, промышленные сбросы, подземные воды, озерная, морская и речная вода и другие источники нетрадиционного тепла. Основные компоненты технологического цикла ТНУ: системы сбора тепла, испаритель, компрессор, конденсатор, расширитель. Баланс энергии ТНУ. Коэффициент преобразования тепла. Направления и области применения ТНУ. Экологически чистые рабочие тела ТНУ, их особенности и перспективы использования. Энергетические характеристики компонентов ТНУ. Применение ТНУ для получения тепла в системах индивидуального и коллективного использования энергии.

8. Аккумуляция и транспорт энергии

Основные понятия и определения. Назначение аккумуляторов энергии и принципы аккумуляирования: биологическое, химическое, тепловое, электрическое, механическое. Основные характеристики аккумуляторов.

Транспорт первичной и вторичной энергии. Основные способы передачи энергии: трубопроводы, кабельная сеть, линии электропередачи, контейнерные перевозки и т. п, их особенности и 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:

9. Основные технические схемы преобразования возобновляемых видов энергии (ВВЭ)

Технологический процесс преобразования энергии в электроустановках на базе ВВЭ. Основные энергетические характеристики этапов преобразования энергии и всей установки в целом. Методы расчета и измерения основных параметров и характеристики в установившихся и переходных режимах. Влияние энергетических объектов на базе ВВЭ на окружающую среду.

Океанические тепловые электростанции (ОТЭС). Принцип работы ОТЭС. Допустимая разность температур. Технологическая схема ОТЭС. Энергетические характеристики ОТЭС.

Энергетические комплексы (ЭК) и электротехнологические комплексы (ЭТК) с установками на базе ВВЭ и ЭАкУ. Основные схемы ЭК и ЭТК и принципы их использования для обеспечения энергией автономного потребителя и электрической системы. Достоинства и недостатки различных схем ЭК и ЭТК. Методы расчета основных энергетических параметров ЭК и ЭТК с аккумуляторами энергии разного вида.

Транспорт первичной и вторичной энергии. Энергетические характеристики, КПД.

Основные этапы проектирования схем установок и станций на базе ВВЭ. Исходная информация, методы ее получения и хранения. Основные энергетические параметры энергоустановок и станций на базе ВВЭ и методы их расчета. Использование систем автоматизированного проектирования (САПР) при выборе и обосновании параметров

энергоустановок и станций на базе ВВЭ при их работе на изолированного потребителя и энергосистему. Разработка элементов САПР, их информационного и программного обеспечения.

Расчеты краткосрочных и длительных режимов работы энергоустановок на базе разных ВВЭ в целях обоснования их основных проектных параметров. Учет наличия аккумуляторов энергии и традиционных видов электростанций и энергоустановок. Расчеты водно-энергетических режимов традиционных и малых ГЭС, НС, ГАЭС, ПЭС и других типов ГЭУ в условиях проектирования при детерминированной, вероятностной и неопределенной информации для установившихся и неустойчивых режимов работы. Постановки задачи, методы решения, основные допущения. Особенности решения каскадной задачи с ГЭУ разного типа.

Особенности проектирования малых ГЭУ, работающих на автономного и объединенного потребителя. Оптимизация структуры генерирующих мощностей локальных, региональных и объединенных энергосистем с энергоустановками на базе ВВЭ. Работа энергоустановок на базе разных ВВЭ на автономного и локального потребителя. Особенности исходной информации и методы решения задачи.

Методы оптимального управления и организации эксплуатации схем, установок и станций на базе ВВЭ. Автоматизированные системы диспетчерского управления (АСДУ) в энергетике. Структура и система управления энергообъектами в электроэнергетике. Разработка элементов АСДУ, их информационного и программного обеспечения.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергообъектов на базе ВВЭ и их особенности. Информационное и программное обеспечение. Разработка элементов АСУ ТП, их информационное и программное обеспечение.

Вопросы

1. Современное состояние и перспективы использования гидроэнергии в мире. Основные принципы использования энергии воды.
2. Источники потенциала гидроэнергетики. Основные категории потенциала гидроэнергетики (включая волны и приливы) и методы их расчета.
3. Водноэнергетические кадастры гидроэнергетики. Особенности формирования стока водотоков.
4. Основные гидравлические и энергетические параметры источников потенциала гидроэнергетики. Методы измерения напора и расхода воды.
5. 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.
6. Энергия приливов. Источники потенциала и их особенности. Влияние Солнца и Луны на приливы. Энергетика приливных течений и методы ее расчета. Основные характеристики приливной волны, методы их расчета и особенности их изменения во времени и от основных влияющих факторов
7. Солнечное излучение, основные зависимости и свойства. Солнечная постоянная и ее изменения в атмосфере и на земле. Мощность солнечного излучения на различно ориентированные площадки.
8. Источники потенциала солнечной энергии. Солнечная радиация: прямая и диффузная. Спектры внеатмосферного и наземного солнечного излучения. Методы измерения солнечной радиации.
9. Методы расчета прихода солнечной радиации на горизонтальную и произвольно ориентированную площади на поверхности Земли в произвольно взятой ее точке.
10. Зависимость солнечной радиации от времени и широты местности. Продолжительность дня с солнечным излучением, поглощение в атмосфере, масса атмосферы.

11. Основные категории потенциала солнечной энергии и методы их расчета. Кадастр солнечной энергии. Современное состояние и перспективы использования солнечной энергии в мире.
12. Основные понятия и определения ветровой энергии. Источники потенциала ветровой энергии.
13. Преобразования энергии ветра: основы теории ветроэнергетических установок (основы аэродинамики). Основные характеристики ветра. Методы его измерения, зависимость параметров ветра от высоты и во времени.
14. Характерные функции распределения ветра и области их применения (распределение Рэля, Вейбулла-Гудрича и т.д.).
15. Шкала Бофорта. Роза ветров. Влияние географических факторов на расчетные параметры ветра в данной точке.
16. Основные категории потенциала ветровой энергии и методы их расчета. Кадастр ветровой энергии. Современное состояние и перспективы использования ветровой энергии в мире.
17. Источники биомассы естественные и антропогенные. Основные типы энергопроцессов, связанных с переработкой биомассы: термохимические, биологические, агрохимические.
18. Утилизация твердых бытовых отходов с получением биоэнергии. Современное состояние и перспективы использования энергии биомассы в мире.
19. Основное назначение аккумуляторов энергии и виды аккумулирования: гидравлическое, биологическое, химическое, тепловое, электрическое, механическое, водородное.
20. Основные характеристики аккумуляторов энергии разного вида и перспективы использования в мире.
21. Основные способы передачи электрической и тепловой энергии, их особенности и характеристики.
22. Солнечная фотоэнергетика. Солнечные термодинамические электростанции. Солнечные тепловые системы и солнечные печи. Солнечный транспорт. Малые формы с использованием солнечной энергии.
23. СЭС с параболическими и параболоцилиндрическими концентраторами: технологическая схема преобразования энергии и ее компоненты. Эффект концентрации излучения. Методы расчета основных параметров. Современное состояние и перспективы использования в мире.
24. Физические основы работы фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). Фотоэффект в p-n переходе. Эквивалентная схема солнечной батареи и нагрузки и характеристики СЭ (ток, напряжение, мощность). ВАХ СЭ и ее зависимость от температуры и мощности СИ. Виды потерь энергии в СЭ и способы их снижения.
25. Технологии производства кремниевых СЭ и модулей, их конструкция. Арсенид-галлиевый солнечный элемент. Многопереходные каскадные солнечные элементы. Тонкопленочные СЭ.
26. Фотоэлектрические системы с концентрированием солнечного излучения.
27. Фотоэлектрические солнечные энергоустановки (СФЭУ). Основные направления развития фотоэлектростанций в мире.
28. Солнечные коллекторы и их типы. Принцип действия, основные конструктивные особенности и к.п.д. солнечных коллекторов и пути его повышения.
29. Системы солнечного горячего водоснабжения и отопления. Методы расчета систем солнечного теплоснабжения (ССТ).
30. Аккумулирование тепла в ССТ: принципы аккумуляции тепла. Методы расчета основных характеристик ССТ.
31. Пассивные солнечные системы (ПСС). Основные типы и их особенности. ПСС с непосредственным обогревом помещений.

32. Солнечная архитектура. Аккумуляция тепла элементами зданий и конструкций.
33. Основные технические схемы использования энергии ветра и их классификация.
34. Теория идеального и реального ветрового двигателя. Основные положения и допущения. Осевая или подъемная сила. Рабочий момент и мощность. Потери энергии ветроколеса.
35. Методы получения энергетических характеристик ветроколеса. Способы установки ветроколеса на ветер. Силы, действующие на ветроколеса при его работе.
36. Способы регулирования частоты вращения и мощности. Конструктивные особенности и энергетические характеристики основных элементов ветроэнергетической установки. Режимы работы ветроколеса. Быстроходность и его связь с коэффициентом мощности.
37. Основные энергетические характеристики. Энергетическая характеристика ВЭУ. Расчетные скорости: минимальная, рабочая, максимальная. Концентраторы воздушного потока, их эффективность, особенности и конструкции.
38. Класс ВЭУ и особенности его выбора. Основные элементы ВЭУ. Основное и вспомогательное оборудование гондолы ВЭУ. Особенности компоновок оборудования в гондоле.
39. Типы генераторов ВЭУ и основы выбора параметров. Конструкции генераторов ВЭУ большой мощности.
40. Электрические схемы сетевых ВЭС. Современные методы контроля качеством электроэнергии и управления ВЭУ.
41. Развитие малой ветроэнергетики в мире. Особенности компоновок и состава оборудования ветроустановок малой мощности.
42. Ветроустановки с горизонтальной осью вращения. Основные элементы конструкции. Особенности режимов работы разных видов ВЭУ.
43. Конструкция башни ВЭУ. Типы фундаментов наземных ВЭУ. Типы нагрузок на ветроустановку и основы расчета параметров элементов и основания ВЭУ. Основания и фундаменты оффшорных ВЭУ.
44. Ветроэлектростанции (ВЭС) или ветропарки. Основные принципы оптимального использования энергopotенциала ветра в заданном регионе.
45. Схемы оптимального размещения ВЭУ относительно друг друга и ветрового потока с учетом розы ветров в регионе. Эффект затенения в ветропарке.
46. Экологические аспекты ветроэнергетики.
47. Характеристики энергосистемы для сетевой и распределенной генерации. Показатели качества электроэнергии.
48. Схемы использования водной энергии. Виды регулирования стока и особенности его проведения. Комплексное использование водной энергии.
49. Классификация и области применения гидротурбин.
50. Конструктивные схемы реактивных гидротурбин. Состав, назначение и выбор параметров.
51. Конструктивная схема активной ковшовой гидротурбины. Рабочие характеристики и выбор параметров гидротурбины.
52. Соотношения между параметрами подобных гидротурбин. Потери энергии в гидравлических турбинах.
53. Рабочие, универсальные, и эксплуатационные характеристики турбин. Условия моделирования гидротурбин и критерии подобия.
54. Основные типы гидрогенераторов ГЭС (на постоянном и переменном токе, синхронный и асинхронный). Энергетические характеристики гидрогенераторов.
55. Гидроаккумулирующие электростанции: назначение, классификация, эффективность, преимущества и недостатки. Компоновки ГАЭС: чистая ГАЭС, ГЭС-ГАЭС, ГЭС-НС.

56. Оборудование ГАЭС. Раздельная, трехмашинная и двухмашинная компоновки агрегатов. Особенности компоновки оборудования и выбора оборудования.
57. Методы выбора и обоснования основных параметров ГЭС.
58. Приливные электростанции (ПЭС). Энергия и мощность приливных течений и приливного подъема-спада воды. Сизигийный и квадратурный прилив.
59. Одно- и многобассейновые схемы ПЭС; с обратимыми и необратимыми агрегатами; с гидравлической аккумуляцией энергии. Методы выбора и обоснования основных параметров ПЭС.
60. Энергоустановки, использующие низкотемпературное тепло земли, воды и воздуха.
61. Типы тепловых насосов (ТН) и принципы их работы. Основные характеристики ТН и теплонасосных установок (ТНУ). Коэффициент преобразования тепла.
62. Основные узлы и элементы ТН. Источники первичной энергии для ТН. Классификация ТН Использование ТНУ для получения тепла в системах индивидуального и коллективного использования энергии.
63. Классификация возобновляемых источников энергии, общие черты и особенности. Предпосылки объединения установок на базе ВИЭ в энергокомплексы. Свойства и отличия ВИЭ при комплексном использовании.
64. Классификация схем энергокомплексов на основе ВИЭ. Примеры существующих энергетических комплексов.
65. Моделирование характеристик ВИЭ. Изменение характеристик ВИЭ в различные интервалы времени. Особенности прихода и использования энергии ВИЭ. Принципы обеспечения гарантированной отдачи источника возобновляемой энергии.
66. Классификация и предпосылки создания ветро-дизельных комплексов (ВДК) для автономного энергоснабжения.
67. Режимы и схемы работы ВДК. Классификация режимов работы ВДК по степени замещения органического топлива. Экологические эффекты объединения ветровых и дизельных станций.
68. Технологические схемы ветро-солнечных энергокомплексов (автономные и сетевые). Моделирование элементов автономного ветро-солнечного ЭК. Режимы работы автономного ветро-солнечного ЭК.
69. Классификация и области применения аккумулирующих систем. Емкостные и электромагнитные накопители. Электрохимические батареи и регенеративные топливные элементы. Инерционные накопители. Пневмо-воздушное аккумулирование. Гидравлическое аккумулирование энергии возобновляемых источников.
70. Классификация гидроаккумулирующих установок. Оптимизация систем гидравлического аккумулирования энергии (основные уравнения).
71. Схема работы энергокомплекса ГЭС-ВЭС. Моделирование совместной работы ветровой и гидравлической станций.
72. Энергетические комплексы ВЭС-ГАЭС: схемы работы. Выбор параметров энергокомплекса ВЭС-ГАЭС.
73. Компьютерные технологии в проектировании объектов возобновляемой энергетики. Трехмерное моделирование сооружений и оборудования при проектировании объектов на базе ВВЭ, при выборе и обосновании параметров энергоустановок и станций на базе
74. Расчеты краткосрочных и длительных режимов энергоустановок на базе разных ВВЭ с целью обоснования их основных проектных параметров.
75. Водно-энергетический расчет режимов традиционных и малых ГЭС, НС, ГАЭС, ПЭС и других типов ГЭУ в условиях проектирования для детерминированной, вероятностной и неопределенной информации.

76. Особенности проектирования малых ГЭС. Оптимизация структуры генерирующих мощностей локальных, региональных и объединенных энергосистем с энергоустановками на базе ВВЭ. Работа энергоустановок на базе разных ВИЭ в распределенной генерации.
77. Методы оптимального управления и организации эксплуатации схем, установок и станций на базе ВИЭ. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергообъектов и их особенности для объектов ВВЭ. Информационное и программное обеспечение.
78. Математическое моделирование и оптимизация установившихся и неустойчивых режимов установок на базе ВВЭ.
79. Основные экологические характеристики электроэнергетических объектов. Взаимодействие гидроэнергетических объектов с природной средой.
80. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии (приливные, солнечные, ветровые электростанции и др.) и их воздействие на окружающую среду.
81. Экологические аспекты энергетической утилизации промышленных и бытовых отходов. Основные принципы управления качеством окружающей среды. Инженерное обеспечение экологической безопасности энергоустановок на основе ВИЭ.
82. Экономические аспекты Энергетической стратегии и современные проблемы российской энергетики.
83. Особенности оценки эффективности проекта с учетом факторов риска и неопределенности. Техничко-экономическая оценка установок на базе ВИЭ.
84. Показатели эффективности использования установок на базе ВВЭ и себестоимость производства энергии.
85. Основные положения методики экономического обоснования выбора систем энергоснабжения с установками на базе ВИЭ.
86. Современные методы оценки эффективности инвестиций в возобновляемой энергетике. Эффективность инвестиционного проекта установки на базе ВВЭ с позиций частного инвестора.

Литература

1. В.В.Елистратов. Использование возобновляемой энергии: Учебное пособие. - СПб.:Изд-во Политехн. ун-та, 2008 - 224 с.
2. Ю.С.Васильев, Л.И.Кубышкин, И.Г.Кудряшева. Компьютерные технологии в научных исследованиях и проектировании объектов возобновляемой энергетики: Учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008 - 262 с.
3. Ю.С. Васильев, Т.С.Жакова, И.С.Саморуков. Автоматизированное управление в гидроэнергетике: Учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008 - 132 с.
4. Г.И.Сидоренко, И.Г.Кудряшева, В.И. Пименов. Экономика установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Техничко-экономический анализ: Учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008 - 248 с.
5. В.В.Елистратов, М.В.Кузнецов, С.Е.Лыков. Ветроэнергоустановки. Автономные ветроустановки и комплексы: Учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008 - 100 с.
6. В.В.Елистратов, В.А.Гриликес, Е.С.Аронова. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения: Учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008 - 100 с.
7. Ю.С.Васильев, П.П. Безруких, В.В.Елистратов, Г.И. Сидоренко. Оценки ресурсов возобновляемых источников энергии в России: Учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008 - 251 с.
8. Гидроэлектростанции малой мощности. Учеб. пособие УМО Рособразования. Под ред. В. В. Елистратова - СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2005- 660 с.

9. Безруких П. П., Елистратов В. В., Сидоренко Г. И. и др. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии (показатели по территориям). Под. ред. Безруких П. П. - М.: ИАЦЭнергия, 2007 – 340 с.
10. Бальзанников М.И, Елистратов В.В. Возобновляемые источники энергии. Аспекты комплексного использования. Самара: ООО "Офорт"; Самарский госуд. арх.-строит. университет, 2008. - 331 с.
11. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии / Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990.
12. Использование водной энергии: Учеб. для вузов. . 4-е изд. перераб. и доп. / Под ред. Ю. С. Васильева. М.: Энергоатомиздат, 1995.