

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Е. А. Беркова

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Утверждено редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «КГТУ»
в качестве учебно-методического пособия по изучению дисциплины
для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

Рецензенты:

доцент кафедры энергетики ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» С. В. Юрков

кандидат технических наук, доцент кафедры теории механизмов и машин и деталей машин ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» Н. А. Середа

Беркова, Е. А.

Возобновляемые источники энергии: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника / Е. А. Беркова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 52 с.

Учебно-методическое пособие подготовлено в соответствии с учебным планом и рабочей программой дисциплины «Возобновляемые источники энергии» и предназначено для подготовки бакалавров направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника. В учебно-методическом пособии представлены методические материалы по изучению дисциплины, включающие тематический план занятий с перечнем ключевых вопросов для каждой лекции, целевой установкой, рекомендуемой литературой, методическими указаниями и вопросами для самоконтроля. Изложены методические указания по выполнению студентами самостоятельной работы.

Табл. 1, список лит. – 11 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рассмотрено и одобрено методической комиссией Института морских технологий, энергетики и строительства 23 декабря 2022 г., протокол № 4

УДК 621.1.016

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2023 г.
© Беркова Е. А., 2023 г.

Оглавление

Введение	5
1. Методические рекомендации по изучению дисциплины.....	9
2. Содержание дисциплины	10
Тема 1. Возобновляемые и невозобновляемые источники энергии	10
Тема 2. Энергия Солнца и возможности ее использования	13
Тема 3. Ветроэнергетика	17
Тема 4. Геотермальная энергия	19
Тема 5. Энергия биомассы	22
Тема 6. Малая гидроэнергетика	24
Тема 7. Энергетические ресурсы океана	27
Тема 8. Вторичные энергоресурсы	29
Тема 9. Аккумулирование и передача энергии	31
3. Методические указания по выполнению самостоятельной работы	33
Список литературы	37
Приложение А. Типовое индивидуальное расчетное задание	38
Приложение Б. Типовые задания для контрольной работы	43
Приложение В. Темы рефератов и докладов	45
Приложение Г. Образец оформления титульного листа индивидуального задания/контрольной работы	47
Приложение Д. Образец оформления титульного листа реферата.....	48
Приложение Е. Образец оформления списка литературы	49

Список сокращений

АОТЭС – арктическая океаническая тепловая электростанция

ВИЭ – возобновляемые источники энергии

ВЭР – вторичные энергоресурсы

ВЭС – ветроэлектростанция

ВЭУ – ветроэнергетическая установка

ГАЭС – гидроаккумулирующая электростанция

ГВС – горячее водоснабжение

ГеоТЭС – геотермальная электростанция

ГЭС – гидроэлектростанция

ИРЗ – индивидуальное расчетное задание

ОПОП ВО – основная профессиональная образовательная программа высшего образования

ОТЭС – океаническая тепловая электростанция

ПЦС – подземная циркуляционная система

ПЭС – приливная электростанция

СРС – самостоятельная работа студентов

СФЭС – солнечная фотоэлектрическая установка

СЭС – солнечные электростанции

СЭУ – солнечная энергетическая установка

ТБПО – твердые бытовые и промышленные отходы

ТНУ – теплонасосная установка

Введение

Дисциплина «Возобновляемые источники энергии» входит в ОПОП ВО по направлению подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника и изучается студентами очной и заочной форм обучения в пятом семестре.

Цель дисциплины состоит в формировании у обучающихся знаний и умений в области перспективы использования альтернативных источников энергии, что позволит стимулировать их деятельность для развития этого направления техники и технологии.

Задачи изучения дисциплины:

- овладение студентами знаниями о характеристиках и особенностях возобновляемых источников энергии, о современных методах их использования, проблемах и перспективах развития альтернативной энергетики;

- освоение методов расчета установок альтернативной энергетики и оценки их эффективности на базе анализа существующих систем и их элементов с целью разработки и внедрения необходимых изменений в их структуре с позиции повышения энергоэкономической эффективности и решения вопросов энергосбережения;

- формирование понимания основных тенденций и направлений в совершенствовании энергетических систем на базе возобновляемых энергоресурсов в отечественной и зарубежной практике, развитие способности объективно оценивать преимущества и недостатки таких систем и их элементов, как отечественных, так и зарубежных.

В результате освоения дисциплины студент должен:

- знать основные традиционные и нетрадиционные возобновляемые источники энергии; энергетический потенциал возобновляемых источников энергии; принципы и методы практического использования возобновляемых источников энергии;

- уметь рассчитывать тепловые схемы объектов с возобновляемыми источниками энергии;

- владеть навыками анализа информации о технических параметрах энергетических установок, использующих возобновляемые источники энергии; терминологией в области альтернативной энергетики; проблематикой применения возобновляемых источников энергии.

Дисциплина опирается на профессиональные и общепрофессиональные компетенции, полученные при изучении таких дисциплин, как «Математический анализ», «Теория вероятности и математическая статистика», «Физика», «Химия», «Экология и природопользование», «Гидрогазодинамика», «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», «Теория горения».

Знания, полученные при освоении дисциплины «Возобновляемые источники энергии», используются при выполнении выпускной квалификационной работы и в дальнейшей профессиональной деятельности.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- задание по индивидуальной расчетной работе (для студентов очной формы обучения);
- задания по контрольной работе (для студентов заочной формы обучения);
- задание на написание реферата (для студентов очной формы обучения);
- тестовые задания по отдельным темам дисциплины.

Индивидуальное расчетное задание (ИРЗ) используется для комплексной оценки освоения базовых тем дисциплины студентами очной формы обучения, а также контроля всех видов учебной деятельности, включая аудиторную и самостоятельную работу студентов. К решению предлагаются три задачи по двум темам: использование энергии Солнца и использование геотермальной энергии (Приложение А). Для самостоятельного решения разработано по 30 вариантов заданий. Каждому студенту вариант задания определяется преподавателем.

Индивидуальное расчетное задание выполняется студентами в течение текущего семестра. Консультации по выполнению задания и его проверка проводятся преподавателями в часы индивидуальных консультаций. По результатам проверки и защиты выполненных заданий выставляется экспертная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно»), которая учитывается при промежуточной аттестации по дисциплине (на дифференцированном зачете). Система оценивания и критерии выставления оценки индивидуальных расчетных заданий представлены в таблице 1.

Задания для контрольной работы по отдельным темам дисциплины выдаются студентам заочной формы обучения с целью контроля качества их самостоятельной работы. Каждая контрольная работа предполагает решение семи задач из методических указаний [4] по темам: использование энергии Солнца, энергетические ресурсы океана, геотермальная энергия, энергия биомассы, энергия малых рек, аккумулирование и передача энергии (Приложение Б).

Выполненные контрольные задания студенты сдают на проверку преподавателю, который делает замечания по их выполнению и пишет рецензию. В случае отсутствия серьезных замечаний студент допускается к защите контрольной работы. При наличии серьезных замечаний работа направляется на доработку. По результатам проверки и защиты выполненных заданий выставляется экспертная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно»), которая учитывается при промежуточной аттестации

по дисциплине (на дифференцированном зачете). Система оценивания и критерии оценки контрольной работы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Система и критерии выставления оценки в ходе промежуточной аттестации

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
1	2	3	4	5
Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно-корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые, релевантные задаче данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые, релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Задание на написание реферата выдается студентам очной формы обучения в начале семестра. Студентам предлагаются на выбор темы по проблемам и перспективам использования возобновляемых источников энергии в мировой, отечественной и региональной энергетике, по технологии преобразования различных возобновляемых энергоресурсов (традиционных и нетрадиционных), по экологическим проблемам энергетики, основанной на использовании возобновляемых источников энергии. Темы рефератов приведены в Приложении В.

В процессе написания реферата обучаемый углубленно знакомится с теоретическим материалом в рамках выбранной тематики. Объем реферата должен составлять 8–10 страниц формата А4.

Оценка результатов выполнения задания по реферативному изучению дополнительного материала дисциплины проводится при представлении студентом выполненного задания в виде оформленного реферата и защиты изложенной в нем позиции, в форме публичного доклада в рамках практических занятий. По результатам проверки реферата и его защиты выставляется экспертная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно»), которая учитывается при промежуточной аттестации по дисциплине (на дифференцированном зачете). Система оценивания и критерии выставления оценки за выполненный реферат представлены в таблице 1.

Тестовые задания по отдельным темам дисциплины используются для текущего контроля освоения дисциплины. Тестирование студентов проводится во время контактной работы в электронной информационно-образовательной среде. Тестовые задания, в зависимости от темы, включают от 6 до 10 вопросов. Задания размещены в банке вопросов курса в электронной информационно-образовательной среде университета. Для каждого тестового задания приведены четыре варианта ответа, в том числе один правильный. При прохождении теста, задания для каждого студента случайным образом перемешиваются. Оценивание осуществляется по критериям, приведенным в таблице 1: «отлично» – 81–100 % правильных ответов на тестовые задания; «хорошо» – 61–80 %

правильных ответов; «удовлетворительно» – 41–60 % правильных ответов; «неудовлетворительно» – менее 41 % правильных ответов.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме дифференцированного зачета по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости. Оценка выставляется как средневзвешенная.

В данном учебно-методическом пособии представлены методические материалы по изучению дисциплины, включающие тематический план занятий с перечнем ключевых вопросов для каждой лекции, целевой установкой, рекомендуемой литературой, методическими указаниями и вопросами для самоконтроля. Изложены методические указания по выполнению студентами самостоятельной работы. В приложении приведены: типовое индивидуальное расчетное задание, типовые задания для контрольной работы, темы рефератов, образцы оформления титульного листа индивидуального задания/контрольной работы и реферата.

Вся информация по тематике и содержанию практических занятий, методические рекомендации и алгоритмы решения типовых задач, задания для самостоятельной работы по каждой теме изложены в учебно-методическом пособии по практическим занятиям.

1. Методические рекомендации по изучению дисциплины

Преподавание дисциплины «Возобновляемые источники энергии» предусматривает: чтение лекций и проведение практических занятий. Лекционные занятия проводятся по всем темам дисциплины для очной формы обучения и части тем для заочной формы обучения в специализированной аудитории с учебными плакатами и графическим материалом. Лекции носят информационный и проблемный характер.

Начиная изучение дисциплины, следует очень серьезно отнестись к вводной лекции, на которой преподавателем определяются цель и задачи дисциплины в общей программе профессиональной подготовки, ее место в учебном плане, методы, которые будут использованы при ее изучении. Указывается перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для самостоятельного изучения ряда тем и разделов. Поэтому кроме написания конспектов нужно сразу же получить (приобрести) один из рекомендуемых учебников.

Также на вводной лекции рассматривается структура энергобаланса мира, России, Калининградской области и место в нем возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Дается классификация ВИЭ, оценивается валовый, технический и экономический потенциал каждого из них.

Все последующие лекции посвящаются изучению характеристик, особенностей и возможных технологий использования в народном хозяйстве основных видов ВИЭ – солнечной энергии, энергии ветра, геотермальной энергии,

энергии биомассы, энергии малых гидроэлектростанций (ГЭС) и энергии океана. Рассматриваются возможности использования вторичных энергоресурсов, аккумулирования и передачи энергии. Материал всех лекций сопровождается историческими справками и примерами практического использования каждого из видов ВИЭ в России и за рубежом.

Практические занятия являются формой, направленной на закрепление теоретических знаний в области применения ВИЭ и разработанных технологий получения на их основе тепловой и электрической энергии для нужд промышленности, транспортного сектора и жилищно-коммунального хозяйства. Они проводятся по всем темам дисциплины для очной формы обучения и части тем для заочной формы обучения. На практических занятиях решаются задачи по расчету различных устройств и агрегатов на базе ВИЭ, тепловых схем электростанций, работающих на возобновляемых энергоресурсах. Также на практических занятиях заслушиваются подготовленные студентами по заданию преподавателя доклады по имеющимся технологиям применения ВИЭ и проектам их использования, по которым проходит групповое обсуждение. Тематика этих докладов строго согласуется с тематикой лекций и является дополнением к теоретическому материалу, излагаемому на лекциях.

Придя на очередную лекцию или практическое занятие, необходимо обязательно предварительно просмотреть конспект предыдущего занятия, а возникшие при этом вопросы постараться снять с помощью учебника или на консультации у преподавателя. В этом случае обеспечивается преемственность в последовательности изучения материала и устойчивое закрепление знаний. В случае вынужденного пропуска занятий нужно незамедлительно просмотреть и переписать их конспект.

В процессе освоения дисциплины студент составляет портфолио дисциплины, которое формируется к окончанию курса обучения. В портфолио студентом фиксируются результаты обучения, формируется своего рода учебная копилка.

Следует приучить себя к систематической работе в течение всего семестра, не откладывая решение проблемных вопросов в долгий ящик. Это обеспечит прочность полученных знаний и успешную аттестацию на дифференцированном зачете по дисциплине.

2. Содержание дисциплины

Тема 1. Возобновляемые и невозобновляемые источники энергии

Ключевые вопросы темы:

1. Цель и задачи дисциплины. Место дисциплины в структуре образовательной программы. Планируемые результаты освоения дисциплины.

2. Традиционные и нетрадиционные возобновляемые источники энергии.
3. Структура мирового энергопотребления.
4. Динамика энергопотребления в мире и в России.
5. Запасы и ресурсы источников энергии.
6. Экологические проблемы энергетики.
7. Место возобновляемых источников энергии в удовлетворении энергетических потребностей человека.
8. Особенности топливно-энергетического баланса Калининградской области.

Целевая установка: Студент должен познакомиться с классификацией возобновляемых источников энергии; получить общее представление о структуре и динамике энергопотребления в мире и в России и изменении доли ВИЭ в нем; узнать запасы и ресурсы возобновляемых и невозобновляемых источников энергии.

Рекомендуемая литература: [2, с. 3–15], [6, с. 19–24, 29–37], [7, с. 20–42], [9, с. 16–28], [10, с. 12–30].

Методические указания:

В начале изучения дисциплины «Возобновляемые источники энергии» необходимо обозначить цели и задачи изучения этой дисциплины, указать ее место в структуре образовательной программы, сформулировать планируемые результаты освоения дисциплины.

Возобновляемые источники энергии – это источники энергии, образующиеся на основе постоянно существующих или периодически возникающих процессов в природе, а также в жизненном цикле растительного и животного мира и жизнедеятельности человеческого общества и самостоятельно восстанавливающиеся до прежнего уровня в процессе их использования.

К возобновляемым источникам энергии относят: энергию солнечного излучения, энергию ветра, внутреннее тепло Земли, энергию естественного движения водных потоков, энергию существующих в природе градиентов температуры и солености, энергию от использования различных видов биомассы. Кроме того, ВИЭ принято условно разделять на две группы: традиционные и нетрадиционные.

Существует международная классификация способов производства тепловой и электрической энергии при помощи возобновляемых источников энергии, с которой также необходимо ознакомиться.

В настоящее время более 80 % суммарного мирового потребления энергии обеспечивается за счет ископаемых органических ресурсов – нефти, угля и природного газа. В производстве электроэнергии уголь, газ и нефть также яв-

ляются преобладающими первичными источниками энергии (около 65 %), хотя значительный вклад в этот сектор энергетики вносят гидроэлектростанции и атомные электростанции (в сумме около 26 %).

Существующие сценарии развития человечества предсказывают значительное изменение топливно-энергетического баланса планеты уже в ближайшие десятилетия, а именно сокращение потребления ископаемых топлив и увеличение доли использования возобновляемых источников энергии.

Ресурсы ВИЭ во много раз превосходят сегодняшний и прогнозируемый на обозримый период времени уровень энергопотребления. Их использование, как правило, не оказывает серьезного негативного воздействия на окружающую среду. В основном они являются экологически чистыми и повсеместно доступными.

Однако увеличение доли использования ВИЭ осложняется рядом присущих им специфических свойств, которые требуют разработки надежных и экономичных технологий их преобразования в тепловую, механическую и электрическую энергию. На решение этой проблемы направлены усилия научно-исследовательских организаций во всех развитых странах мира. С результатами этих работ студенты должны ознакомиться в процессе изучения дисциплины.

Вопросы для самопроверки:

1. Что понимают под возобновляемыми источниками энергии?
2. Что относится к возобновляемым источникам энергии?
3. Какие возобновляемые источники энергии относятся к традиционным?
4. Какие возобновляемые источники энергии считаются нетрадиционными?
5. Какой из возобновляемых источников энергии обладает наибольшим валовым потенциалом?
6. Какая часть мирового энергопотребления удовлетворяется за счет органического топлива?
7. Какова доля ископаемых видов топлива в производстве электроэнергии?
8. Перечислите виды возобновляемых источников энергии, которые в настоящее время используются человеком.
9. Использование каких из возобновляемых энергоресурсов получило наибольшее распространение в мире?
10. Какие отрасли возобновляемой энергетики развиваются в настоящее время в России?
11. Какие возобновляемые источники энергии используются на территории Калининградской области?
12. Назовите преимущества ВИЭ в сравнении с традиционными источниками энергии.

Тема 2. Энергия Солнца и возможности ее использования

Ключевые вопросы темы:

1. Солнечное излучение и его природа.
2. Характеристики солнечного излучения.
3. Классификация способов и принципов преобразования солнечной энергии.
4. Солнечные энергетические установки коммунально-бытового назначения: солнечные водонагревательные установки, системы солнечного теплоснабжения зданий, гелиосистемы охлаждения и теплохладоснабжения.
5. Солнечные системы для получения электроэнергии: башенные солнечные электростанции (СЭС), СЭС с солнечными прудами, СЭС с концентраторами солнечной энергии.
6. Фотоэлектрическая генерация.
7. Социально-экологические характеристики солнечной энергетики.

Целевая установка: Студент должен получить понятие о природе и характеристиках солнечного излучения; познакомиться с классификацией способов и принципов преобразования солнечной энергии; изучить технические решения гелиосистем по обеспечению потребителей горячим водоснабжением, отоплением и охлаждением; изучить принципиальные тепловые схемы основных типов солнечных электростанций; узнать о воздействии гелиоэнергетики на окружающую среду.

Рекомендуемая литература: [1, с. 146–189, 248–249], [2, с. 103–106, 131–140], [6, с. 469–492, 550–605], [7, с. 81–117], [8], [9, с. 32–92], [10, с. 73–175].

Методические указания:

Энергия солнечного излучения образуется в результате реакций ядерного синтеза в активном ядре Солнца. Поверхностная плотность потока солнечного излучения, падающего на площадку, расположенную над атмосферой Земли на расстоянии ~ 150 млн км от Солнца, представляет собой солнечную постоянную $E_0^* = 1353 \text{ Вт/м}^2$. В процессе прохождения излучения через атмосферу часть лучистого потока отражается обратно в космическое пространство, часть поглощается атмосферой, часть пропускается на поверхность Земли. *Интенсивность солнечного излучения* E измеряется в Вт/м^2 и определяется по формуле:

$$E = E_0^* \cdot (1 - \rho_0),$$

где ρ_0 – коэффициент отражения – альбедо.

Общее количество энергии, которое приходится на единицу площади поверхности за заданный промежуток времени, называется *иррадиация* или су-

точная (годовая) облученность H . Иррадиация измеряется в Дж/(м²·сут) или Вт·ч/(м²·сут) или другой период и определяется по формуле:

$$H = \int E \cdot d\tau.$$

Иррадиация изменяется в зависимости от широты местности и времени года. Ее сезонные изменения определяются тремя факторами: изменением продолжительности дня; ориентацией приемной площадки; изменением поглощения в атмосфере.

Показатель атмосферного влияния на интенсивность солнечного излучения, доходящего до земной поверхности, называется *воздушной* или *атмосферной массой* AM . Воздушная масса для любого уровня земной поверхности в любой момент дня определяется по формуле:

$$AM = p/p_0 \cdot 1/\sin\alpha^0,$$

где p – атмосферное давление, Па; p_0 – нормальное атмосферное давление, Па; α^0 – угол высоты Солнца над горизонтом.

Качество лучистой энергии, достигающей поверхности Земли, характеризуется длинами волн $\lambda=0,3\div2,5$ мкм. Это коротковолновое излучение, включающее видимый спектр.

Солнечное излучение – это энергетический поток от источника с гораздо более высокой температурой, чем у традиционных источников. Его лучистая энергия может быть использована для получения тепловой и электрической энергии как с помощью стандартных технических устройств (например, паровых турбин), так и методами на основе фотохимических и фотофизических взаимодействий (фотоэлектрической генерации).

Технологически эти процессы имеют существенные отличия, поэтому существуют различные классификации солнечных энергетических установок (СЭУ): по виду преобразования и использования солнечной энергии в другие виды энергии, по размещению, по стационарности, по виду ориентации на Солнце, по технической сложности.

Среди всего многообразия гелиосистем рекомендуется более подробно рассмотреть солнечные энергетические установки, используемые для получения тепловой энергии или холода, и солнечные электростанции различных типов, вырабатывающие электроэнергию.

Подогрев воды солнечным излучением – наиболее очевидная область использования лучистой энергии. В ряде стран на это расходуется до 20 % потребляемой энергии. Простейшие солнечные водонагревательные установки представляют собой некоторый открытый или закрытый резервуар с водой, поглощающий солнечное излучение, за счет чего вода нагревается и используется на нужды человека. Более сложные приемники – солнечные коллекторы различных типов, нагревают за определенное время только некоторое количество жидкости, которая затем аккумулируется в каком-либо резервуаре, что позволяет снижать теплотери системы в целом.

По организации движения теплоносителя солнечные водонагревательные установки с солнечными коллекторами делятся на установки с естественной циркуляцией, используемые для горячего водоснабжения (ГВС) индивидуальных потребителей, и установки с принудительной циркуляцией. Последние могут использоваться для ГВС крупных объектов, а также в качестве первой ступени для предварительного подогрева воды в топливных системах ГВС жилых зданий.

Для солнечного теплоснабжения зданий используются активные или пассивные системы солнечного теплоснабжения.

Характерным признаком активных систем является наличие коллектора солнечной энергии, аккумулятора теплоты, дополнительного (резервного) источника энергии, теплообменников, насосов (для жидкости) или вентиляторов (для воздуха), трубопроводов с арматурой, устройств для автоматического управления и контроля.

В пассивных системах роль солнечного коллектора и аккумулятора теплоты обычно выполняют сами ограждающие конструкции здания, а движение теплоносителя (воздуха) осуществляется за счет естественной конвекции без применения вентилятора.

Для наилучшего использования преимуществ этих систем солнечного теплоснабжения возможна и реализация гибридных систем, включающих в себя элементы пассивной и активной гелиосистемы.

Применение солнечных установок для производства холода и кондиционирования воздуха эффективно в условия жаркого климата, где пиковая нагрузка охлаждения совпадает по времени с максимумом поступления солнечной радиации. Выбор способа охлаждения зависит от климатических условий.

Солнечные электростанции делятся по используемому принципу преобразования солнечной энергии на два вида: фотоэлектрические, которые реализуют метод прямого преобразования солнечной энергии в электрическую, и термодинамические, где лучистая энергия преобразуется сначала в тепло, которое в термодинамическом цикле тепловой машины, в свою очередь, преобразуется в механическую энергию, а затем в генераторе – в электрическую.

Прямое преобразование солнечной энергии в постоянный электрический ток осуществляется фотоэлектрическими преобразователями (фотоэлементами). В основе их работы лежит фотоэффект, который заключается в том, что электроны некоторых веществ (например, кремния) способны поглощать энергию солнечных лучей. В результате электроны покидают свои орбиты, то есть наблюдается их фотоэлектрическая эмиссия. Если при этом в веществе действует электрическое поле, электроны образуют направленный поток свободных носителей заряда. Этот направленный поток электронов и есть постоянный фототок.

В местах переходов или неоднородностей материала существуют внутренние электростатические поля и для структуры «полупроводник – полупроводник» или «металл – полупроводник» они позволяют создать разность потенциалов около 0,5 В и плотность тока порядка 200 А/м при плотности потока солнечного излучения около 1000 Вт/м².

Несколько фотоэлементов, объединенных вместе для выработки электрической энергии, называют солнечной фотоэлектрической установкой (СФЭУ) или солнечной батареей. Фотоэлементы можно объединить последовательно-параллельно, повышая тем самым их общую мощность. При последовательном соединении элементов увеличивается напряжение, при параллельном – суммарный ток.

Для создания солнечных фотоэлектрических преобразователей используют три основные группы материалов:

1. Кристаллические материалы, чаще всего кремниевые.
2. Тонкие аморфные пленки: сплавы на основе аморфного кремния (a-Si:H); арсенид галлия (GaAs); диселенид меди и индия (CuInSe₂); теллурид кадмия (CdTe) и др.
3. Органические полимеры.

СЭС на основе термодинамического цикла можно разделить на башенные солнечные электрические станции, СЭС с солнечными прудами и солнечные энергетические установки с параболоцилиндрическими концентраторами и с концентраторами тарельчатого типа.

По сравнению с другими видами энергии солнечная энергия в целом является одним из наиболее чистых в экологическом отношении видов энергии. Однако избежать полностью вредного воздействия солнечной энергетики на человека и окружающую среду практически не удастся, особенно если учесть всю технологическую цепочку от получения требующихся материалов до производства электроэнергии.

Вопросы для самопроверки:

1. Назовите основные характеристики солнечного излучения.
2. От чего зависит интенсивность солнечного излучения?
3. Назовите способы использования солнечной энергии.
4. Какие типы солнечных коллекторов вы знаете?
5. Перечислите основные элементы активной системы солнечного отопления.
6. Какие схемы преобразования солнечной энергии в электричество вам известны?
7. Какие типы солнечных тепловых электростанций Вы знаете?
8. Опишите принцип работы солнечной электростанции башенного типа.
9. Опишите принцип работы солнечной фотоэлектрической установки.

10. Какие материалы используются для изготовления солнечных фотоэлементов?
11. Перечислите недостатки солнечной энергетики.
12. В каком направлении развивается солнечная энергетика в мире? В России?
13. Есть ли в нашей стране объекты солнечной электрогенерации?
14. Какое негативное воздействие солнечная энергетика оказывает на окружающую среду?

Тема 3. Ветроэнергетика

Ключевые вопросы темы:

1. Потенциал энергии ветра и возможности его использования.
2. Ветровой кадастр России.
3. Общие характеристики ветроустановок.
4. Основы теории ветроэнергетических установок (ВЭУ).
5. Режимы работы ветроколеса.
6. Классификация ветроэнергетических установок. Ветроэлектростанции (ВЭС).
7. Экологические проблемы ветроэнергетики.

Целевая установка: Студент должен получить понятие о природе возникновения и потенциале ветра; познакомиться с классификацией ветроустановок и их основными характеристиками; изучить основы теории ветроэнергетических установок и режимы работы ветроколеса; узнать о воздействии ветроэнергетики на окружающую среду.

Рекомендуемая литература: [1, с. 190–205, 206–218, 250–253], [2, с. 20–23, 106–112, 140–155], [6, с. 622–659], [7, с. 118–135], [9, с. 96–138], [11].

Методические указания:

Ветер является одним из наиболее мощных энергетических источников, который издавна используется человечеством, и при благоприятных условиях может быть энергетически преобразован в значительно больших масштабах, чем это имеет место в настоящее время.

Причиной возникновения ветров является поглощение земной атмосферой солнечного излучения, приводящее к расширению воздуха и появлению конвективных течений. В глобальном масштабе на эти явления накладывается эффект вращения Земли, приводящий к появлению преобладающих направлений ветра, а также местные особенности, обусловленные определенными географическими или экологическими факторами.

Сила ветра оценивается в баллах по *шкале Бофорта* от нуля (штиль: 0–0,4 м/с) до 12 (ураган: > 34 м/с). Нормальная работа ВЭУ возможна в диапазоне скоростей от 3,6 м/с до 14–17 м/с, что соответствует 3–7 баллам по шкале Бофорта. Скорость ветра является важнейшей характеристикой, определяющей его энергетическую ценность.

Для проведения надежных энергетических и технико-экономических расчетов по использованию ветра, режимам работы и простоев ветроустановок, их производительности и выработке электроэнергии необходимы сведения о повторяемости скоростей ветра в зоне, их хронологическом ходе и ряде других характеристик. Они приводятся в *ветроэнергетическом кадастре*.

Первое изложение теории ветродвигателей относят к началу XVIII в. В более систематизированном виде она появилась в конце XIX в. в Европе и в Америке. Огромная роль в этом принадлежит Н. Е. Жуковскому и его ученикам Г. Х. Сабину и В. П. Ветчинкину и др.

Расчет и проектирование ВЭУ ведется на основе *трех законов аэродинамики*. В соответствии с этими законами ветроколесо представляется тонким проницаемым диском, при взаимодействии с которым воздушный поток отдает ему часть своей кинетической энергии.

Полнота преобразования кинетической энергии воздушного потока ветроколесом характеризуется коэффициентом использования энергии ветра (коэффициентом мощности) ξ . По классической теории Н. Е. Жуковского максимальное значение коэффициента мощности $\xi_{max}=0,593$, то есть в ветропотоке в лучшем случае можно использовать чуть больше половины его кинетической энергии. Другими важными характеристиками в теории ветроустановок являются: коэффициент торможения потока e , коэффициент лобового давления ξ_l , коэффициент крутящего момента ξ_{km} , быстроходность z .

Ветроэнергетические установки классифицируют по двум основным признакам: геометрия ветроколеса; положение ветроколеса относительно направления ветра. Существуют три класса ветродвигателей:

- первый класс включает ветродвигатели, у которых ветряное колесо располагается в вертикальной плоскости; при этом плоскость вращения перпендикулярна направлению ветра, а ось ветроколеса параллельна потоку (ось вращения – горизонтальная). Такие ветродвигатели называются *крыльчатыми*;
- ко второму классу относятся системы ветродвигателей с вертикальной осью вращения ветрового колеса;
- к третьему классу относятся ветродвигатели, работающие по принципу водяного мельничного колеса и называемые *барабанными*. У этих ветродвигателей ось вращения горизонтальна и перпендикулярна направлению ветра.

Ветроэнергетика с ее современным техническим оснащением является вполне сложившимся направлением энергетики. ВЭУ мощностью от нескольких кВт до нескольких МВт производятся в Европе, США, России. Большая их

часть используется для производства электрической энергии – как в единой энергосистеме, так и в автономных режимах.

ВЭС в процессе эксплуатации не производят никаких вредных выбросов в окружающую среду и в этом отношении являются экологически абсолютно чистыми. Однако негативное воздействие ветроустановок на природу все же имеется.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие способы использования энергии ветра Вам известны?
2. Что является причиной возникновения ветров?
3. Как оценивается сила ветра?
4. От чего зависит мощность, снимаемая с единицы площади ветроколеса?
5. Какие зоны, в зависимости от ветрового режима, можно выделить на территории нашей страны?
6. Когда впервые была изложена теория ветродвигателей?
7. На основе каких законов ведется проектирование и расчет ветроэнергетических установок?
8. Что характеризует коэффициент использования энергии ветра? Чему равно его максимальное значение? Каково реальное значение ξ для действующих ВЭС?
9. Какие существуют классы ветродвигателей?
10. Как классифицируются ВЭУ по отношению их мощности к мощности энергосистемы?
11. В чем заключается негативное воздействие ветроустановок на окружающую среду?
12. В чем преимущество ветроэнергетических установок перед традиционной энергетикой?

Тема 4. Геотермальная энергия

Ключевые вопросы темы:

1. Тепловой режим земной коры. Источники геотермального тепла. Классификация геотермальных районов.
2. Схемы использования геотермального тепла для выработки электроэнергии и в системах теплоснабжения.
3. Комплексное использование геотермальных ресурсов. Геотермальные электростанции (ГеоТЭС) России.
4. Оценка тепловой мощности геотермального массива.
5. Экологические проблемы геотермальной энергетики.

Целевая установка: Студент должен познакомиться с основными источниками геотермальной энергии, способами и принципами ее преобразования; изучить принципиальные тепловые схемы основных типов ГеоТЭС, технические решения по обеспечению отопления потребителей, схемы комплексного использования геотермальных ресурсов; научиться оценивать тепловую мощность геотермального массива; узнать возможные негативные последствия использования геотермальной энергии.

Рекомендуемая литература: [1, с. 9–145, 244–248], [2, с. 118, 181–187], [7, с. 136–145], [9, с. 219–240], [10, с. 348–359].

Методические указания:

При изучении этой темы необходимо вспомнить внутреннее строение Земли. Она состоит из ряда геосфер, отличающихся составом и состоянием вещества. При средних условиях температура пород на глубине 10 км достигает 300 °С. Выход теплоты через твердые породы суши и океанского дна происходит главным образом путем теплопроводности (геотермальное тепло) и реже – в виде конвективных потоков расплавленной магмы или горячей воды (пара).

Средний поток геотермального тепла через земную поверхность составляет около 0,06 Вт/м² при температурном градиенте менее 30 °С/км. Однако имеются районы с повышенными градиентами температуры, где потоки геотермальной энергии составляют 10–20 Вт/м², что позволяет реализовать геотермальные электрические станции тепловой мощностью до 100 МВт/км² и продолжительностью срока эксплуатации не менее 20 лет.

Принято выделять три класса геотермальных районов:

- гипертермальные, с градиентами температур более 80 °С/км (вблизи границ платформ). Здесь находятся почти все из ныне действующих ГеоТЭС в США, Италии, Никарагуа, Новой Зеландии, России (Камчатка, Курильские острова);
- полутермальные, с градиентами температур от 40 до 80 °С/км. В таких районах целесообразно извлекать тепло из естественных водоносных пластов для отопления, для использования в теплицах, для лечебных целей и т. п.;
- нормальные, с градиентами температур менее 40 °С/км. Экономическая выгодность извлечения тепла из недр здесь маловероятна, но есть перспектива использования его в качестве источника для геотермальных теплонасосных установок (ТНУ).

Источники геотермальной энергии подразделяются на три вида:

- термальные воды, пароводяные смеси, сухой пар, содержащиеся в подземных трещинно-жильных коллекторах и пористых пластовых системах – парогидротермальные ресурсы;
- аккумулированное в горных породах тепло – петротермальные ресурсы;
- тепло магматических очагов вулканов и лакколитов.

К наиболее распространенным схемам ГеоТЭС, использующим парогидротермальные источники энергии, можно отнести:

- цикл с одним рабочим телом (водой или фреоном);
- цикл с двумя рабочими телами (водой и фреоном) – бинарный;
- прямой паровой цикл.

Весьма перспективной технологией для строительства ГеоТЭС считается создание подземных циркуляционных систем (ПЦС) с использованием теплоты «сухих» горных пород. Глубоко залегающие «сухие» горные породы могут обеспечить подогрев воды до 220 °С при ее закачке через скважину.

Использование геотермальной энергии для получения электроэнергии целесообразно лишь тогда, когда температура флюидов превышает 150 °С. Что касается геотермальных вод с температурой от 30 до 120 °С, основным направлением использования их ресурсов является теплоснабжение жилищно-коммунальных, промышленных и сельскохозяйственных объектов. Кроме того, геотермальные воды, имеющие высокую минерализацию, можно использовать с целью извлечения из них ценных компонентов для различных технических целей, в бальнеологии, для розлива минеральных вод и т. д.

Геотермальная энергетика, как и все другие способы преобразования энергии на основе ВИЭ, не является абсолютно чистой. При неправильном решении технических вопросов при добыче, очистке, транспортировке и преобразовании геотермальной энергии может быть нанесен серьезный ущерб природной среде.

Вопросы для самопроверки:

1. Как классифицируются геотермальные районы?
2. Перечислите источники геотермальной энергии.
3. Назовите способы использования геотермальной энергии.
4. Где расположены источники геотермальной энергии в России?
5. Какие схемы ГеоТЭС Вам известны?
6. При каких условиях целесообразно строить ГеоТЭС?
7. Перечислите действующие в нашей стране ГеоТЭС.
8. Что понимается под комплексным использованием геотермальных ресурсов?
9. По каким параметрам можно оценить тепловую мощность геотермального массива?
10. Что понимается под постоянной времени геотермального массива?
11. Как определяется скорость извлечения геотермального тепла?
12. Почему геотермальную энергию лишь условно можно отнести непосредственно к возобновляемым источникам энергии?
13. Перечислите основные негативные последствия использования геотермальной энергии.

Тема 5. Энергия биомассы

Ключевые вопросы темы:

1. Фотосинтез. Биомасса. Биотопливо. Классификация процессов производства биотоплива.
2. Газификация и газогенераторы.
3. Анаэробное сбраживание. Расчет биогазогенераторов.
4. Производство древесного топлива.
5. Производство биотоплива для энергетических целей. Энергетические фермы.
6. Технологии обезвреживания твердых бытовых и промышленных отходов (ТБПО).
7. Экологическая характеристика использования биоэнергетических установок.

Целевая установка: Студент должен познакомиться с основными источниками биомассы, способами производства биотоплива, его видами и энергетическими характеристиками; изучить технологии обезвреживания твердых бытовых и промышленных отходов; узнать возможные негативные последствия при энергетическом использовании биомассы.

Рекомендуемая литература: [1, с. 219–233, 254–255], [2, с. 112–118, 181–187], [6, с. 515–545], [7, с. 187–205], [9, с. 175–211], [10, с. 243–296].

Методические указания:

Биоэнергетика – это использование энергоресурсов биомассы для производства товарного топлива и энергии, а также сохранение баланса диоксида углерода в биосфере и атмосфере, как одного из составляющих парниковых газов.

В странах умеренного пояса в качестве биомассы для производства биотоплива могут быть использованы: отходы растениеводства, животноводства, птицеводства; посадки быстрорастущих кустарников; отходы древесины от рубок; твердые бытовые отходы; жидкие пищевые отходы и органические осадки городских сточных вод; промышленные отходы предприятий; залежи твердых бытовых и промышленных отходов на свалках. По своему происхождению их можно условно разделить на две группы: сельские (первые три вида) и городские (четыре последних вида).

Для производства биотоплива используются термохимические, биохимические и агрохимические методы. К термохимическим процессам относят прямое сжигание, пиролиз, газификацию и прочие термохимические процессы, различающиеся предварительной подготовкой сырья и контролем химического состава продуктов реакции. К биохимическим процессам относят спиртовое

брожение, анаэробное разложение, биофотоллиз. К агрохимическим процессам относятся процессы получения жидких и твердых топлив прямо от живых или только что срезанных растений (из надрезов, под прессом).

В качестве примера рекомендуется более подробно рассмотреть некоторые методы конверсии биомассы. Один из них – газификация. Газификация – это пиролиз, приспособленный для максимального сбора (до 80 % в массовой доле) газообразного топлива. Осуществляется процесс газификации в газогенераторах, где возможна переработка широкого ассортимента углеродосодержащего сырья – древесины, продуктов деревообработки, водорослей, сельскохозяйственных отходов, твердых бытовых отходов и т. п. Для обеспечения температурных условий протекания многообразных термохимических процессов в различных зонах газогенератора используется воздушное, кислородное или паровое дутье. В газогенераторе с воздушным дутьем обычно получают низкокалорийный топливный газ, а в газогенераторах с кислородным и паровым дутьем – среднекалорийный. Основными компонентами генераторного газа являются CO и H₂. Также в газовом потоке могут содержаться такие горючие газы, как CH₄, C₂H₄, C₃H₆, NH₃, H₂S, балласт – CO₂, H₂O, N₂ и избыточное количество кислорода O₂. Помимо топливного газа продуктами термохимических реакций газогенератора являются топливная жидкость и углистое вещество. Отходами газификации являются зола и шлак.

Процесс анаэробного разложения органических отходов осуществляется в замкнутых объемах с недостаточным поступлением кислорода извне с образованием биогаза (смеси CH₄ и CO₂). Устройства для получения биогаза называют биогазогенераторами, метантенками, биореакторами или ферментаторами. КПД процесса анаэробного разложения составляет 60–90 % и зависит в основном от температуры сбраживания и расхода энергии на ее поддержание. После сбраживания в отходах резко уменьшается количество болезнетворных микроорганизмов, в то же время питательные вещества, например соединения азота, сохраняются.

Для твердых бытовых и горючих промышленных отходов используются такие методы утилизации, как складирование на полигонах, комплексная сортировка, биотермическое аэробное компостирование, прямое сжигание с утилизацией тепла, газификация и пиролиз, плазменная переработка и др. Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки. Условия применения конкретного способа утилизации зависят от типа отходов и возможности его реализации в конкретных социально-экономических условиях.

Биоэнергетические станции по сравнению с традиционными электростанциями и другими ВИЭ являются наиболее экологически безопасными. Они способствуют избавлению окружающей среды от загрязнения всевозможными отходами. Например, анаэробное сбраживание – эффективное средство утилизации и обеззараживания отходов животноводства, птицеводства, звероводства.

Кроме того, образуется дополнительный корм для скота (протеин) и удобрения. Однако присутствует и неблагоприятное воздействие на природную среду при энергетическом использовании биомассы.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое биоэнергетика?
2. Перечислите методы производства биотоплива.
3. Какие виды биотоплива Вам известны? Назовите их.
4. Что относится к термохимическим процессам производства биотоплива?
5. Опишите принцип действия газогенератора.
6. Как из биомассы получают биогаз?
7. Какие основные компоненты входят в состав генераторного газа? Биогаза?
8. Как классифицируется древесное топливо по способу производства и форме?
9. Назовите технические характеристики твердого биотоплива.
10. Перечислите методы утилизации твердых бытовых и промышленных отходов.
11. Что Вам известно о комплексной системе обращения с твердыми коммунальными отходами в РФ?
12. Какое воздействие биоэнергетика оказывает на окружающую среду?

Тема 6. Малая гидроэнергетика

Ключевые вопросы темы:

1. Гидроэнергоресурсы.
2. Основные принципы использования энергии водяного потока.
3. Мощность и энергия водяного потока. Потери энергии и КПД гидроэлектростанций.
4. Схемы концентрации напора.
5. Оборудование ГЭС. Типы гидротурбин и их характеристики.
6. Малые ГЭС.
7. Экология малых ГЭС.

Целевая установка: Студент должен изучить принципы использования гидроэнергии; познакомиться с типами ГЭС и их основным оборудованием, особенностями работы малых ГЭС; научиться определять энергетические характеристики ГЭС; узнать возможные негативные последствия использования энергии малых рек.

Рекомендуемая литература: [1, с. 206–218, 253–254], [2, с. 15–19, 37–49, 120–122, 168–176], [5, с. 3–13, 18–27, 32–47], [7, с. 205–208], [9, с. 144–160, 169–172], [10, с. 176–194].

Методические указания:

Гидроэнергетика – это наиболее развитая область возобновляемой энергетики, использующая энергию падающей воды, которая преобразуется либо в механическую, либо в электрическую энергию.

Основой гидроэнергетических и водохозяйственных расчетов являются в первую очередь данные о режиме стока, определяемом соответствующими характеристиками. *Сток* Q_s , м^3 , – это суммарный объем воды, прошедший через заданное поперечное сечение водовода от начального момента τ_0 до некоторого конечного момента времени τ_k :

$$Q_s = \int_{\tau_0}^{\tau_k} Q(\tau) \cdot d\tau,$$

где $Q = S \cdot v$ – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; S – площадь поперечного сечения водотока, м^2 ; v – средняя скорость движения потока воды, $\text{м}/\text{с}$.

Потенциальная мощность водяного потока – это потенциальные возможности реки, которые определяются выражением:

$$N_0 = 9,81 \cdot Q \cdot H,$$

где H – напор, м.

Мощность ГЭС будет меньше за счет потерь в гидротехнических сооружениях, напорных водоводах, в турбинах, генераторах. Эти потери учитываются полным КПД гидроэнергетической установки $\eta_{\text{ГЭС}}$. В итоге мощность ГЭС

$$N_{\text{Э}} = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{\text{ГЭС}}.$$

Для преобразования энергии водного потока в электрическую энергию необходимо иметь определенные значения расхода и напора. В естественных условиях концентрированные в определенном месте напоры встречаются очень редко. Обычно равнинные реки имеют уклон свободной поверхности воды 5–10 см/км, а горные – 5–10 м/км. Поэтому для того, чтобы напоры, используемые турбинами ГЭС, имели необходимые значения, их приходится создавать искусственно.

Существуют следующие схемы концентрации напора гидротехническими сооружениями: плотинная, деривационная и смешанная (плотинно-деривационная). Тип и конструкция плотины определяются ее размерами, назначением, а также природными условиями и видом основного строительного материала. По деривационной схеме обычно осуществляется концентрация напора на горных реках с большими уклонами.

Оборудование ГЭС делят на гидроэнергетическое (основное), вспомогательное, механическое, электротехническое. Гидротурбины – основное оборудование ГЭС – бывают двух типов:

- реактивные, рабочее колесо которых полностью погружено в воду и вращается в основном за счет разности давлений до и за колесом;
- активные, которые используют кинетическую энергию натекающего на лопасти потока воды, а само рабочее колесо вращается в воздушной среде.

Наиболее полное и достоверное представление об экономичности работы гидроагрегата дают его рабочие характеристики или характеристики потерь мощности (расхода) в нем: главная универсальная характеристика, рабочая характеристика, эксплуатационная универсальная характеристика.

К малым рекам обычно относят водотоки с расходами от 5 до 50 м³/с, длиной от 10 до 100 км, площадь водосборных бассейнов которых не превышает 2000 км². Суммарная протяженность малых рек в России составляет 40 % от общей длины всех рек.

Верхняя граница мощности малых ГЭС в разных странах оценивается по-разному. Она зависит от уровня развития энергетического хозяйства страны, особенностей обоснования проектов малых ГЭС и лицензионных процедур, объемов оборотного капитала и принятия программ структурирования малой гидроэнергетики. В России к малым относятся ГЭС с общей установленной мощностью до 30 МВт, установленной мощностью одного агрегата – до 10 МВт, диаметром рабочего колеса традиционных видов гидротурбин – до 3 м.

Малые ГЭС в основном предназначены для покрытия местных нужд в электроснабжении. При их строительстве целесообразно применять стандартизированные конструкции гидросооружений и блочную поставку оборудования (турбина-генератор).

Экологические негативные последствия строительства малых ГЭС качественно те же, что и средних и крупных ГЭС, однако абсолютные значения менее ощутимы.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие существуют схемы концентрации напора?
2. Когда обычно концентрация напора осуществляется по деривационной схеме?
3. Как осуществляется концентрация напора при плотинной схеме?
4. Назовите основные типы гидротурбин. Опишите их принцип действия.
5. Какие турбины рекомендуется использовать при высоких напорах?
6. Какое физическое явление осложняет работу гидротурбин?
7. От чего зависит мощность водяного потока?
8. Какие потери учитывает полный КПД гидроэнергетической установки?
9. В чем отличие гидравлической электростанции от гидроаккумулирующей?
10. Какие ГЭС относятся к малым в РФ? Как они классифицируются по установленной мощности?

11. В чем отличие малых ГЭС от крупных?
12. Назовите достоинства малых ГЭС по сравнению с другими источниками децентрализованного энергоснабжения.

Тема 7. Энергетические ресурсы океана

Ключевые вопросы темы:

1. Баланс возобновляемой энергии океана.
2. Общие сведения об использовании энергии приливов. Причины возникновения приливов. Мощность приливных течений и приливного подъема воды.
3. Ресурсы тепловой энергии океана. Схема океанической тепловой электростанции (ОТЭС), работающей по замкнутому циклу. ОТЭС открытого цикла. Использование перепада температур «океан – атмосфера».
4. Основы преобразования энергии волн. Устройства для преобразования энергии волн.
5. Экологические последствия использования энергии океана.

Целевая установка: Студент должен познакомиться со способами преобразования возобновляемой энергии океана – энергии приливов, тепловой энергии океана, энергии ветровых волн, научиться оценивать мощность этих энергоресурсов, изучить основные типы преобразователей энергии волн, виды приливных электростанций, схемы ОТЭС; узнать возможные негативные последствия использования энергии океана.

Рекомендуемая литература: [1, с. 234–243, 255–256], [2, с. 118–120, 112–130, 155–168], [3], [6, с. 677–700], [7, с. 146–162], [9, с. 160–169, 172], [10, с. 297–348].

Методические указания:

Мировой океан аккумулирует энергию биомассы, приливов и отливов, океанических течений и волн, тепловую и т. п. Проблема заключается в том, чтобы найти экономически и экологически приемлемые способы ее преобразования и использования. По прогнозным оценкам доступная часть энергии Мирового океана во много раз превышает мировое потребление энергетических ресурсов.

Приливные колебания уровня воды в огромных океанах планеты составляют величину $R=0,5\div 10$ м. Самые высокие в мире приливы наблюдаются в бухте Фанди 15,6–18,0 м (Канада). В РФ самые высокие приливы – в Пенжинской губе Охотского моря (до 12,9 м).

Основные периоды этих колебаний: суточные $\tau = 24$ ч 50 мин.; полусуточные $\tau = 12$ ч 25 мин. Скорость приливных течений в прибрежных проливах и между островами может достигать 5 м/с.

Поднятую на максимальную высоту во время прилива воду можно отделить от моря дамбой или плотиной в бассейне площадью F . Если бассейн наполняется и опустошается через турбины в течение продолжительности прилива τ , то среднюю потенциальную мощность приливных электростанций (ПЭС) за приливной период можно определить как

$$\bar{N} = \rho \cdot F \cdot R^2 \cdot g / 2 \cdot \tau, \text{ Вт.}$$

Энергия приливных течений может быть преобразована подобно тому, как это делается с энергией ветра. При максимальной скорости приливного потока 3 м/с с 1 м² площади поперечного сечения можно снять ~14 кВт мощности.

Причиной приливных колебаний уровня воды и приливных течений является гравитационное взаимодействие Земли с Луной и Солнцем. Если Солнце, Земля и Луна оказываются на одной линии (дважды в лунный месяц, во время полнолуния и новолуния), возникает сизигийный прилив максимальной высоты. Если же направления Солнце – Земля и Земля – Луна перпендикулярны (находятся в квадратуре), высоты суммарных приливов минимальны – это квадратурные приливы (тоже дважды в лунный месяц, в первой и третьей четверти Луны). Закон изменения высоты прилива в течение месяца представляет собой синусоидальную кривую с периодом $T=14,75$ сут.

Мировой океан – крупнейший естественный коллектор солнечного излучения. В нем разность температур между теплыми поверхностными водами, поглощающими солнечное излучение, и более холодными придонными достигает 20–22 °С. Это обеспечивает непрерывно пополняемый запас тепловой энергии, которая может быть преобразована в другие виды энергии в соответствии со вторым законом термодинамики.

Среди ОТЭС можно выделить два типа станций: работающие по замкнутому и открытому циклам. В ОТЭС замкнутого цикла предполагается использование легкокипящего вещества в качестве рабочего тела (аммиак, фреон, пропан). В ОТЭС открытого цикла в качестве рабочего тела используется непосредственно морская вода.

В арктических (полярных) ОТЭС (АОТЭС), использующих перепад «вода – воздух», разность температур может быть выше 20–30 °С.

Огромное количество энергии можно получить от морских волн. Мощность ветровых волн Мирового океана оценивается в размере от 10 до 90 ТВт. Однако мощность, которая может быть полезно использована, значительно ниже – всего 2,7 ТВт.

Мощность, переносимая волнами на глубокой воде, пропорциональна квадрату их амплитуды (a^2) и периоду (T). Поэтому наибольший интерес пред-

ставляют длиннопериодные ($T \sim 10$ с) волны большой амплитуды ($a \sim 2$ м), позволяющие снимать с единицы длины гребня волны в среднем от 50 до 70 кВт/м.

В открытом море при $a > 10$ м удельная мощность может достигать 2 МВт/м. Однако технически возможно использовать энергию волн лишь в прибрежных зонах, где она не превышает 80 кВт/м.

Выражение для мощности, переносимой в направлении распространения волны, на единицу ширины волнового фронта можно представить как (Вт/м):

$$N = \rho \cdot g^2 \cdot a^2 \cdot T / 8\pi.$$

В основе работы волновых энергетических станций лежит воздействие волн на рабочие органы, выполненные в виде поплавков, маятников, лопастей, оболочек и т. п. Механическая энергия их перемещений с помощью электрогенераторов преобразуется в электрическую.

Ввиду низкой плотности волновой энергии ее используют в основном для питания потребителей длительного пользования малой мощности, например надводных автономных буев, маяков, научных приборов и т. п.

При преобразовании любых видов океанической энергии неминуемы определенные изменения естественного состояния затрагиваемых экосистем.

Вопросы для самопроверки:

1. Перечислите способы использования энергии морей и океанов.
2. Как определяется мощность прилива?
3. Как Луна и Солнце влияют на высоту прилива?
4. Где в мире наблюдаются максимальные по величине приливы?
5. Каким образом осуществляется работа ПЭС?
6. Опишите принцип работы тропической ОТЭС.
7. Опишите принцип работы арктической ОТЭС.
8. От чего зависит мощность, переносимая ветровыми волнами?
9. Назовите основные принципы преобразования энергии волн.
10. Перечислите возможные негативные экологические последствия использования энергии океана.

Тема 8. Вторичные энергоресурсы

Целевая установка:

1. Классификация вторичных энергоресурсов (ВЭР): топливные, тепловые, избыточного давления.
2. Определение эффективности использования ВЭР в различных отраслях народного хозяйства. Приведенные затраты.
3. Энергетический потенциал ВЭР в России.
4. Экологические проблемы.

Целевая установка: Студент должен познакомиться с классификацией вторичных энергоресурсов; научиться определять эффективность их использования; получить основные сведения об энергетическом потенциале ВЭР в России и экологических проблемах их использования.

Рекомендуемая литература: [7, с. 163–186].

Методические указания:

Вторичными энергоресурсами называют энергетический потенциал продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках), который не используется в самом агрегате, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других агрегатов.

Различают три вида ВЭР: топливные, тепловые и избыточного давления.

Использование ВЭР, в зависимости от их вида и параметров, возможно в четырех направлениях: топливном, тепловом, силовом и комбинированном.

Энергетический потенциал энергоносителей определяется:

- для горючих ВЭР – низшей теплотой сгорания $Q_{н}^P$;
- для тепловых ВЭР – перепадом энтальпий Δh ;
- для ВЭР избыточного давления – работой изоэнтропийного расширения ℓ_0 .

Выход ВЭР определяется рядом факторов технологического характера, поэтому в общем случае суточный график выхода ресурса – неравномерный. Различают следующие показатели удельного (часового) выхода: максимальный, минимальный (гарантированный), средний. В расчетах ВЭР обычно определяют средний выход.

Основой эффективности использования ВЭР является достигаемая экономия первичного топлива и обеспечиваемая при этом экономия затрат по добыче и транспорту топлива. Важнейшим условием для определения экономической эффективности использования ВЭР является определение вида и количества топлива, которое экономится при утилизации ВЭР. Величина экономии топлива зависит от направления использования ВЭР и схемы энергоснабжения предприятия, на котором он используется. О целесообразности использования ВЭР можно судить и по срокам окупаемости дополнительных затрат, которые не должны превышать 3–5 лет.

Вопросы для самопроверки:

1. Что понимают под ВЭР?
2. Назовите основные виды вторичных энергоресурсов.
3. Что относится к топливным (горючим) ВЭР?
4. Какие ВЭР относятся к тепловым?

5. Перечислите основные направления использования вторичных энергоресурсов.
6. Как определяется экономия топлива от использования ВЭР?
7. Как оценивается экономическая эффективность использования ВЭР?
8. Как можно использовать теплоту уходящих газов в производственной котельной?

Тема 9. Аккумуляирование и передача энергии

Ключевые вопросы темы:

1. Специфические проблемы аккумуляирования и передачи энергии от возобновляемых источников.
2. Биологическое аккумуляирование.
3. Химическое аккумуляирование с помощью водорода и аммиака.
4. Аккумуляирование тепла. Аккумуляирование электроэнергии.
5. Топливные элементы.
6. Механическое аккумуляирование с использованием воды, сжатого воздуха и маховиков.
7. Передача энергии. Классификация типов передачи энергии.

Целевая установка: Студент должен изучить способы аккумуляирования и передачи энергии, полученной из возобновляемых источников, познакомиться с принципом работы топливных элементов, изучить особенности аккумуляирования энергии на гидроаккумуляующих станциях.

Рекомендуемая литература: [1, с. 177–182] [2, с. 187–192], [6, с. 267–353, 374–415], [10, с. 360–385].

Методические указания:

ВИЭ в отличие от традиционных энергоресурсов имеют ряд особенностей: независимость от человека естественных потоков этих источников; неподконтрольность мощности ВИЭ; случайный характер многих процессов; низкая интенсивность и рассеянность. Последнее свойство делает предпочтительным децентрализованное потребление энергии. То есть ее не нужно передавать на большие расстояния. Тем не менее некоторые виды ВИЭ можно с успехом использовать в централизованных системах (например, ГЭС), крупномасштабно перераспределять энергию.

Почти всегда остается проблема приведения в соответствие выработки и потребности в энергии в рамках временного спроса, то есть выравнивания скорости потребления энергии. Это можно осуществлять двумя путями: подгонять

нагрузку к интенсивности преобразования или аккумулировать энергию для последующего использования.

Существует несколько способов аккумулирования энергии, среди которых необходимо выбирать наиболее эффективный.

Биологическое аккумулирование заключается в накоплении солнечной энергии в результате фотосинтеза в биологических и ископаемых горючих материалах. Химическое аккумулирование – получение водорода или аммиака, а также метанола (CH_3OH).

При аккумулировании тепловой энергии, в качестве аккумулирующей среды в основном используется вода. Кроме того, можно использовать скальные породы и сами здания.

Электроэнергия – это наиболее совершенная форма энергии, поэтому делаются огромные усилия в направлении поисков дешевых и эффективных способов ее аккумулирования. Устройство, допускающее как поглощение, так и выдачу электроэнергии, называют электрической аккумуляторной батареей или электрическим аккумулятором.

Топливные элементы преобразуют химическую энергию топлива непосредственно в электрическую, минуя стадию сжигания. Так как преобразование «теплота – работа» здесь отсутствует, эффективность топливных элементов не попадает под ограничения второго закона термодинамики, поэтому КПД преобразования химической энергии в электрическую теоретически может достигать 100 %. Но на практике это ~ 40 %.

Механическое аккумулирование осуществляется с использованием воды, сжатого воздуха и маховиков. В первом случае это гидроаккумулирующие станции (ГАЭС), агрегаты которых работают как в режиме турбин, так и в режиме насосов, перекачивая воду между двумя резервуарами (бассейнами) – верхним и нижним.

Для устройств, преобразующих возобновляемую энергию, источники которой обычно распределены в пространстве и имеют низкую интенсивность, более актуальна передача энергии на короткие расстояния (биомасса, теплота). Энергию ветра, воды, волн лучше всего передавать, преобразовав ее в электроэнергию. Полученный водород можно передавать по трубопроводам и крупномасштабно.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие способы аккумулирования энергии Вам известны?
2. В чем заключается биологическое аккумулирование энергии?
3. Перечислите методы получения водорода.
4. Как осуществляется аккумулирование тепловой энергии?
5. Назовите устройства для аккумулирования электроэнергии.
6. Опишите принцип действия топливных элементов.

7. Перечислите способы механического аккумулирования энергии.
8. Как осуществляется передача энергии, полученной из ВИЭ, на расстояние?

3. Методические указания по выполнению самостоятельной работы

Содержание самостоятельной работы студентов (СРС) определяется рабочей программой дисциплины. К ней относится изучение вопросов теоретического курса, не рассматриваемых на аудиторных занятиях.

Проработка вопросов, предлагаемых для самостоятельного освоения, необходима студентам при подготовке к лекциям, практическим занятиям, а также поможет в решении задач, выполнении индивидуального расчетного задания или контрольной работы, написании реферата и доклада для его защиты, решении тестовых заданий, предусматривающих текущий контроль знаний как по отдельным темам, так и по всему теоретическому курсу, и при промежуточной аттестации по дисциплине (дифференцированном зачете).

Самостоятельная работа может осуществляться как на основе использования учебной и учебно-методической литературы, так и интернет-ресурсов. Самостоятельное изучение теоретического материала является элементом обучения самостоятельному приобретению новых знаний как одной из важнейших профессиональных компетенций. Самостоятельно изучаемые вопросы курса включены в оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (дифференцированного зачета).

При выполнении *индивидуального расчетного задания* или *контрольной работы* следует придерживаться следующих правил:

- условия задач должны быть переписаны полностью;
- решения задач необходимо сопровождать пояснениями и подробными вычислениями;
- при вычислении каждой величины надо указывать ее название, формулу, по которой она определяется. После записи формулы с буквенными обозначениями подставляются в таком же порядке их численные значения;
- необходимо указывать единицы измерения всех величин, как заданных в условии задачи, так и полученных в результате расчетов. Применять нужно только Международную систему единиц (СИ).

Решения задач выполняются в тетради в клетку или на стандартных листах бумаги формата А4, скрепленных в скоросшивателе. Для заметок рецензента (преподавателя) на каждой странице тетради (на листе) отводятся поля. При выполнении ИРЗ или контрольной работы печатным способом, рекомендуется придерживаться приведенных ниже (для реферата) правил оформления текстовых документов, установленных ГОСТ Р 2.105-2019 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.

На обложке тетради или титульном листе скоросшивателя обязательно должны содержаться следующие сведения: полное наименование вуза; наименование института – «Институт морских технологий, энергетики и строительства»; наименование кафедры – «Кафедра энергетики»; вид работы – «Индивидуальное расчетное задание / Контрольная работа»; название учебной дисциплины; шифр учебной группы; фамилия и инициалы студента; ученая степень, научное звание (при наличии), инициалы и фамилия преподавателя; место и год выполнения работы. Образец оформления титульного листа индивидуального расчетного задания / контрольной работы приведен в Приложении Г.

Задание на написание реферата выдается студентам очной формы обучения в начале семестра. Реферат – это краткое изложение материала по заданной теме, обобщающее информацию из нескольких литературных источников (монографий, учебников, научных статей и т. п.). Работа над рефератом включает поиск, анализ и структурирование информации, ее самостоятельное изложение, оценку общего состояния рассматриваемой проблемы.

Студентам предлагаются на выбор темы по истории и проблемам развития мировой, отечественной и региональной возобновляемой энергетики, по технологиям преобразования возобновляемых энергоресурсов, по экологическим проблемам использования возобновляемых источников энергии (Приложение В).

Задание на написание реферата выполняется в следующей последовательности:

- выбор темы реферата;
- поиск и изучение литературных источников по выбранной теме;
- составление плана реферата;
- изложение материала по плану со ссылками на использованные источники;
- оформление реферата в соответствии с приведенными ниже рекомендациями.

Реферат должен иметь следующую структуру: титульный лист, содержание, введение, основная часть (может включать несколько разделов), заключение, список использованной литературы.

Титульный лист является первым листом реферата. Он оформляется в соответствии с существующими в университете нормами (см. Приложение Д). После титульного листа приводится «Содержание», где последовательно перечисляются заголовки разделов и подразделов и указываются номера страниц, с которых они начинаются. Все разделы и подразделы, кроме введения, заключения, списка использованной литературы и приложения (если оно есть в реферате), должны быть пронумерованы.

Введение – это краткое изложение всей работы. Здесь нужно определить предмет и объект исследования, обосновать актуальность выбранной темы,

описать цель работы, выделить несколько задач, помогающих достичь цели, указать методы исследования.

Основная часть реферата, как правило, содержит несколько разделов, где излагаются результаты исследования, раскрывающие рассматриваемую проблему. Названия разделов должны быть сформулированы так, чтобы было понятно их содержание. Изложение подобранного по выбранной теме материала должно быть логичным и последовательным, выстроенным хронологически или по смыслу. В основной части могут быть представлены рисунки (схемы, графики и т. д.), таблицы, формулы.

Заключение является обобщением всего исследования. В заключении подводятся итоги по всей работе, даются ответы на поставленные во введении задачи, формулируются выводы, делается заключение о достижении цели реферата.

Список использованной литературы должен содержать сведения об источниках, которые были использованы в процессе работы над рефератом. Рекомендуется использовать не менее пяти источников информации. При формировании списка лучше отдать предпочтение изданным за последние пять лет источникам. Количество более старой литературы не должно превышать 30 % от общего объема списка использованных источников. Не допускается включение в список использованной литературы источников информации, которыми студент не пользовался. На каждый источник в тексте должна быть ссылка. Список оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». Список формируется в алфавитном порядке или в порядке появления в тексте ссылок на использованные источники. Ссылки приводятся в квадратных скобках и соответствуют порядковому номеру источника в списке литературы. Образец оформления списка литературы приведен в Приложении Е.

Объем реферата должен быть от 8–10 листов (на введение и заключение выделяется по 1–2 страницы), оригинальность должна составлять не менее 40 %, при этом из одного источника не допускается копировать более 15 % текста.

Реферат выполняется печатным способом на стандартных листах формата А4 без рамок и распечатывается с одной стороны листа бумаги. Рекомендуется набирать текст работы шрифтом Times New Roman размером (кеглем) 12 через полуторный межстрочный интервал с выравниванием основного текста по ширине и автоматической расстановкой переносов. Цвет шрифта – черный. Отступ первой строки – 1,25 см. Поля страницы слева – не менее 30 мм, сверху, внизу и справа – не менее 20 мм. Номера страниц проставляются внизу, посередине. Титульный лист включается в общую нумерацию страниц работы, но номер страницы на нем не ставится. Заголовки разделов и подразделов печатаются полужирным шрифтом с выравниванием текста по центру. Подчеркивание и

перенос слов в заголовках не допускается, точка в конце заголовка не ставится. От текста заголовки отделяются одним интервалом.

Рисунки, таблицы, формулы следует нумеровать арабскими цифрами. Нумерация может быть как сквозной по всему тексту, так и внутри раздела. В тексте реферата на все таблицы и рисунки обязательно должны быть ссылки. Таблицы и рисунки помещают после упоминания о них в тексте или на следующей странице. От основного текста рисунки, таблицы и формулы отделяются отступом в один интервал. Слово «Таблица» указывается слева над таблицей, следом идет номер и название таблицы. Если таблица занимает несколько страниц, то в начале каждой следующей страницы пишут: «Продолжение таблицы», с указанием ее номера. При этом столбцы таблицы должны быть пронумерованы. Рисунки нумеруются и подписываются снизу посередине. Если в реферате только одна таблица или один рисунок, они не нумеруются.

Работу над рефератом надо начинать сразу же после выбора темы.

Как и при освоении других дисциплин образовательной программы, необходимо своевременно выполнять предусмотренные рабочей программой в рамках СРС учебные задания. Систематическое освоение необходимого учебного материала и своевременное выполнение и защита индивидуального расчетного задания и реферата или контрольной работы позволят быть готовым к успешной промежуточной аттестации по дисциплине (дифференцированному зачету).

Список литературы

1. Алхасов, А. Б. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / А. Б. Алхасов. – Москва: МЭИ, 2011. – 270 с.
2. Великанов, Н. Л. Гидросиловые установки и возобновляемые источники энергии: учебник / Н. Л. Великанов; КГТУ. – Калининград: КГТУ, 2006. – 200 с.
3. Коробков, В. А. Преобразование энергии океана / В. А. Коробков. – Ленинград: Судостроение, 1986. – 279 с.
4. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: методическое пособие к выполнению контрольных заданий по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 140101.65 – Тепловые электрические станции / КГТУ; В. В. Селин. – Калининград: КГТУ, 2005. – 20 с.
5. Оборудование ГЭС: учебное пособие по курсу «Энергетические установки» / А. Ю. Александровский, Ю. А. Заболоцкий, Н. И. Матвиенко [и др.]; под ред. В. И. Обрезкова; Мин-во науки, высш. шк. и техн. политики РФ; МЭИ. – Москва: МЭИ, 1992. – 86 с.
6. Да Роза, А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учебное пособие / А. да Роза; пер. с англ. под ред. С. П. Малышенко и др. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 703 с.
7. Сибикин, Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – Москва: КНОРУС, 2012. – 240 с.
8. Солнечная энергетика: учебное пособие / В. И. Виссарионов [и др.]. – Москва: МЭИ, 2008. – 276 с.
9. Возобновляемые источники энергии: справочник модуля / В. Ф. Белей и др.; под ред. В. Ф. Белея и др.; КГТУ. – Калининград: КГТУ, 2015. – 256 с.
10. Твайделл, Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр; пер. с англ. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
11. Шефтер, Я. И. Использование энергии ветра / Я. И. Шефтер. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 200 с.

Типовое индивидуальное расчетное задание

Задание № 1. Расчет солнечной электростанции башенного типа

На солнечной электростанции башенного типа, работающей по циклу Ренкина, установлено n гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность F_{Γ} , м². Коэффициент отражения гелиостата – R_{Γ} . Максимальная облученность зеркала гелиостата – E_{Γ} , Вт/м².

Гелиостаты отражают солнечные лучи на приемник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещенность – $E_{\text{пр}}$, МВт/м². Коэффициент поглощения приемника – $A_{\text{пр}}$. Степень черноты приемника – $\varepsilon_{\text{пр}}$.

В приемнике нагревается, испаряется и перегревается рабочее тело (вода) до температуры t_0 , °С. Давление рабочего тела составляет p_0 , МПа. Полученный перегретый пар направляется в турбину мощностью $N_{\text{э}}$, МВт. Давление пара за турбиной составляет $p_{\text{к}}$, кПа. Относительный внутренний КПД турбины – η_{0i} . Механический КПД $\eta_{\text{м}}=0,975$. КПД электрогенератора – $\eta_{\text{эг}}=0,985$. Работой насоса, потерями тепла при его транспортировке, собственными нуждами – пренебречь.

Определить:

- расход пара на турбину D_0 , кг/с;
- площадь поверхности приемника $F_{\text{пр}}$, м² и тепловые потери в нем – $Q_{\text{пот}}$, кВт, вызванные излучением и конвекцией. Принять, что конвективные потери вдвое меньше потерь от излучения;
- энергию, полученную приемником от солнца через гелиостаты, – $Q_{\text{пр}}$, кВт;
- количество гелиостатов – n , шт.;
- как изменится мощность СЭС, если вместо паротурбинной установки применить кремниевые преобразователи с КПД $\eta_{\text{фэ}}=0,141$, занимающие ту же площадь, что и зеркала гелиостатов?

Исходные данные для первого задания представлены в таблице А.1.

Таблица А.1 – Исходные данные для задания № 1

Вариант	F_{Γ} , м ²	R_{Γ}	E_{Γ} , Вт/м ²	$E_{\text{пр}}$, МВт/м ²	$A_{\text{пр}}$	$\varepsilon_{\text{пр}}$	t_0 , °С	p_0 , МПа	$N_{\text{э}}$, МВт	$p_{\text{к}}$, кПа	η_{0i}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	64	0,8	550	2,5	0,95	0,96	590	10	1,05	4,5	0,85
2	61	0,81	575	2,1	0,96	0,95	580	11	3,0	5,0	0,84
3	58	0,82	580	2,2	0,94	0,94	570	12	1,1	5,5	0,83

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	55	0,79	585	2,3	0,94	0,95	600	13	5,0	6,0	0,88
5	52	0,78	590	2,6	0,93	0,97	545	14	2,0	6,5	0,84
6	49	0,8	600	2,5	0,95	0,94	550	13,5	1,2	3,0	0,86
7	46	0,81	610	2,0	0,96	0,94	555	13,7	4,0	3,5	0,87
8	43	0,82	620	1,9	0,97	0,93	535	12,5	1,0	4,2	0,82
9	40	0,79	615	2,1	0,95	0,95	565	11,2	5,5	4,3	0,83
10	37	0,78	605	1,9	0,95	0,94	585	10,6	4,0	4,4	0,84
11	54	0,79	595	2,44	0,95	0,96	450	10	2,05	6,0	0,85
12	51	0,78	580	2,14	0,96	0,95	480	11	3,5	6,5	0,84
13	68	0,8	605	2,24	0,94	0,94	470	12	1,5	3,0	0,83
14	65	0,81	600	2,34	0,94	0,95	400	13	5,5	3,5	0,88
15	62	0,82	610	2,64	0,93	0,96	445	14	2,5	4,2	0,84
16	69	0,79	595	2,54	0,93	0,93	450	13,5	1,4	6,0	0,86
17	66	0,78	580	2,04	0,95	0,94	455	13,7	3,4	6,5	0,87
18	63	0,8	605	1,94	0,96	0,95	435	12,5	2,0	3,0	0,82
19	60	0,81	600	2,14	0,94	0,95	465	11,2	4,5	3,5	0,83
20	67	0,82	610	1,94	0,95	0,94	485	10,6	4,2	4,2	0,84
21	64	0,8	550	2,5	0,95	0,96	590	9,0	4,5	4,5	0,85
22	61	0,81	575	2,1	0,96	0,95	580	12,5	3,0	5,0	0,84
23	58	0,82	580	2,2	0,94	0,94	570	11,5	2,5	5,5	0,83
24	55	0,79	585	2,3	0,94	0,95	600	13,5	1,55	6,0	0,88
25	52	0,78	590	2,6	0,93	0,96	545	14,5	4,2	6,5	0,84
26	49	0,8	600	2,54	0,93	0,93	550	12,7	3,2	3,0	0,86
27	46	0,81	610	2,0	0,95	0,94	555	11,7	2,5	3,5	0,87
28	43	0,82	620	1,9	0,96	0,95	535	14,5	2,0	4,2	0,82
29	40	0,79	615	2,15	0,94	0,95	565	16,2	5,5	4,3	0,83
30	37	0,78	605	1,95	0,95	0,94	585	12,6	4,0	4,4	0,84

Задание № 2. Расчет системы солнечного теплоснабжения здания

На крыше здания установлен пластинчатый приемник солнечной энергии проточного типа, который имеет поверхность F , м². Коэффициент использования солнечной энергии – $\eta_{\text{пр}}$. Облученность приемника – $E_{\text{пр}}$, Вт/м². Приемник освещается солнцем в течение суток $\tau_{\text{осв}}$, час. В приемнике нагревается рабочее тело (вода) от температуры $t_{\text{в1}}$ до температуры $t_{\text{в2}}$, °С. Вода направляется в систему теплоснабжения здания тепловой мощностью $Q_{\text{т.сн}}$, кВт и в аккумулятор тепловой энергии.

Определить:

- расход воды через приемник $G_{\text{в}}$, кг/с;
- расходы воды в систему теплоснабжения $G_{\text{т.сн}}$ и в аккумулятор $G_{\text{ак}}$, кг/с;

- площадь поверхности приемника F , м²;

- емкость аккумулятора V , м³.

Исходные данные для второго задания представлены в таблице А.2.

Таблица А.2 – Исходные данные для задания № 2

Вариант	$\eta_{\text{пр}}$	$E_{\text{пр}}$, Вт/м ²	$t_{\text{в1}}$, °С	$t_{\text{в2}}$, °С	$Q_{\text{т.чн}}$, кВт	$\tau_{\text{осв}}$, час
1	0,80	550	32	45	1,0	5
2	0,81	575	45	53	1,5	6
3	0,82	580	27	45	2,0	4
4	0,79	585	40	55	2,5	6
5	0,78	590	30	54	3,0	7
6	0,80	600	45	56	3,5	5
7	0,81	610	37	49	4,0	6
8	0,82	620	25	55	4,5	7
9	0,79	615	30	50	5,0	5
10	0,78	605	19	36	5,5	4
11	0,80	450	35	48	3,6	7
12	0,79	475	44	58	4,1	6
13	0,78	480	24	47	4,6	4
14	0,77	485	41	56	5,1	6
15	0,76	490	34	55	5,6	7
16	0,80	400	41	58	1,1	5
17	0,79	410	38	52	1,6	6
18	0,78	420	21	53	2,1	7
19	0,77	515	19	45	2,6	5
20	0,76	505	18	36	3,1	4
21	0,80	550	32	45	1,2	4
22	0,81	575	45	53	1,3	6
23	0,82	580	27	45	2,2	7
24	0,79	585	40	55	2,7	5
25	0,78	590	30	54	3,1	6
26	0,80	600	45	56	3,2	4
27	0,81	610	37	49	4,1	6
28	0,82	620	25	55	4,3	7
29	0,79	615	30	50	5,1	5
30	0,78	605	19	36	5,2	6

Задание № 3. Расчет тепловой схемы геотермальной электростанции бинарного типа

Геотермальная электростанция состоит из двух турбин:

- первая турбина работает на насыщенном водяном паре, полученном в расширителе. Электрическая мощность – $N_{пт}$, МВт;
- вторая турбина работает на насыщенном паре хладона-R11, который испаряется за счет тепла воды, отводимой из расширителя.

Вода из геотермальных скважин с давлением $p_{гв}$, МПа, температурой $t_{гв}$, °С, поступает в расширитель. В расширителе образуется сухой насыщенный пар с давлением p_p , МПа. Этот пар направляется в паровую турбину. Оставшаяся вода из расширителя идет в испаритель, где охлаждается на $\Delta t_{в}^u$, °С, и закачивается обратно в скважину. Температурный напор в испарительной установке $\delta t_{и}=20$ °С. Рабочие тела расширяются в турбинах и поступают в конденсаторы, где охлаждаются водой из реки с температурой $t_{хв}$, °С. Нагрев воды в конденсаторе $\Delta t_{в}=10$ °С, а недогрев до температуры насыщения $\delta t_{и}=5$ °С.

Относительные внутренние КПД турбин $\eta_{oi}^{пт}=\eta_{oi}^{хт}=0,8$. Электромеханический КПД турбогенераторов $\eta_{эм}=0,95$.

Определить:

- электрическую мощность турбины, работающей на хладоне, – $N_{хт}$ и суммарную мощность ГеоТЭС с учетом затрат энергии на насос, закачивающий геотермальную воду в скважину;
- расходы рабочих тел на обе турбины;
- расход геотермальной воды из скважины;
- КПД ГеоТЭС.

Исходные данные для третьего задания представлены в таблице А.3.

Таблица А.3 – Исходные данные для задания № 3

Вариант	$N_{пт}$, МВт	$p_{гв}$, МПа	$t_{гв}$, °С	p_p , МПа	$\Delta t_{в}^u$, °С	$t_{хв}$, °С
1	2	3	4	5	6	7
1	1,0	15	160	0,25	40	5
2	2,0	16	165	0,26	50	6
3	2,5	17	170	0,27	60	7
4	3,0	18	165	0,28	45	8
5	3,5	19	160	0,29	55	9
6	3,0	20	155	0,30	65	10
7	2,5	21	150	0,20	42	6
8	2,0	22	155	0,21	43	7
9	1,5	23	170	0,22	45	8
10	3,0	24	160	0,23	48	9

Окончание таблицы А.3

1	2	3	4	5	6	7
11	2,5	25	170	0,31	47	5
12	2,0	26	160	0,24	49	6
13	1,5	27	155	0,26	59	7
14	2,0	28	150	0,28	60	10
15	2,5	29	155	0,22	54	9
16	3,0	30	170	0,21	56	5
17	2,5	20	150	0,23	58	6
18	3,0	19	170	0,27	57	10
19	3,5	18	140	0,22	52	8
20	3,0	17	165	0,23	58	9
21	2,5	16	150	0,31	55	5
22	2,0	15	160	0,24	65	6
23	1,5	14	155	0,26	42	7
24	2,0	13	150	0,28	43	10
25	2,5	12	155	0,22	45	9
26	3,0	11	145	0,21	48	5
27	2,5	10	150	0,23	47	6
28	3,0	15	145	0,27	57	10
29	3,5	18	150	0,22	47	8
30	3,0	17	165	0,23	49	9

Типовые задания для контрольной работы

Задача № 1. На солнечной электростанции башенного типа установлено n гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность F_z , m^2 . Гелиостаты отражают солнечные лучи на приемник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещенность $H_{np} = 2,5 \text{ MBt}/m^2$. Коэффициент отражения гелиостата $R_z = 0,8$, коэффициент поглощения приемника $A_{np} = 0,95$. Максимальная облученность зеркала гелиостата $H_r = 600 \text{ Bt}/m^2$. Определить площадь поверхности приемника F_{np} , m^2 , и тепловые потери в нем, вызванные излучением и конвекцией, если рабочая температура теплоносителя составляет t , $^{\circ}\text{C}$. Степень черноты приемника $\varepsilon_{np} = 0,95$. Конвективные потери вдвое меньше потерь от излучения.

Задача № 2. Считается, что действительный КПД η океанической ТЭС, использующей температурный перепад поверхностных и глубинных вод $(T_1 - T_2) = \Delta T$ и работающей по циклу Ренкина, вдвое меньше термического КПД установки, работающей по циклу Карно, η_t^k . Оценить возможную величину действительного КПД ОТЭС, рабочим телом которой является аммиак, если температура воды на поверхности океана – t_1 , $^{\circ}\text{C}$, а температура воды на глубине океана – t_2 , $^{\circ}\text{C}$. Какой расход теплой воды (V , $m^3/ч$) потребуется для ОТЭС мощностью N , MBt ? Считать, что плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг}/m^3$, а удельная массовая теплоемкость $c_p = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$.

Задача № 3. Определить начальную температуру t_2 , $^{\circ}\text{C}$, и количество геотермальной энергии E_0 , Дж , водоносного пласта толщиной h , км , при глубине залегания z , км , если заданы характеристики породы пласта: плотность $\rho_{zp} = 2700 \text{ кг}/m^3$; пористость $\alpha = 5 \%$; удельная теплоемкость $c_{zp} = 840 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$. Температурный градиент (dT/dz) в $^{\circ}\text{C}/\text{км}$ выбрать по таблице вариантов задания. Среднюю температуру поверхности t_0 принять равной 10°C . Удельная теплоемкость воды $c_w = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$, плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг}/m^3$. Расчет произвести по отношению к площади поверхности $F = 1 \text{ км}^2$. Минимально допустимую температуру пласта принять равной $t_1 = 40^{\circ}\text{C}$. Определить также постоянную времени извлечения тепловой энергии τ_0 (лет) при закачивании воды в пласт и расходе ее $V = 0,1 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$. Какова будет тепловая мощность, извлекаемая первоначально $(dE/d\tau)_{\tau=0}$ и через 10 лет $(dE/d\tau)_{\tau=10}$?

Задача № 4. Определить объем биогазогенератора V_6 , m^3 , и суточный выход биогаза V_g , $m^3/\text{сут}$, в установке, утилизирующей навоз от n коров, а также обеспечиваемую ею тепловую мощность N , Bt . Время цикла сбраживания $\tau = 14 \text{ сут}$. при температуре $t = 25^{\circ}\text{C}$; подача сухого сбразиваемого материала от одного животного идет со скоростью $W = 2 \text{ кг}/\text{сут}$; выход биогаза из сухой массы $v_g = 0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$. Содержание метана в биогазе составляет 70 %. КПД го-

релочного устройства η . Плотность сухого материала, распределенного в массе биогазогенератора, $\rho_{\text{сух}} = 50 \text{ кг/м}^3$. Теплота сгорания метана при нормальных физических условиях $Q_{\text{н}}^p = 28 \text{ МДж/м}^3$.

Задача № 5. Для отопления дома в течение суток потребуется Q , ГДж, теплоты. При использовании для этой цели солнечной энергии тепловая энергия может быть запасена в водяном аккумуляторе. Допустим, что температура горячей воды – t_1 , °С. Какова должна быть емкость бака аккумулятора (V , м^3), если тепловая энергия может использоваться в отопительных целях до тех пор, пока температура воды не понизится до t_2 , °С? Величины теплоемкости и плотности воды взять из справочной литературы.

Задача № 6. Используя формулу Л. Б. Бернштейна, оценить приливный потенциал бассейна $\mathcal{E}_{\text{пот}}$, кВт·ч, если его площадь F , км^2 , а средняя величина прилива – $R_{\text{ср}}$, м.

Задача № 7. Как изменится мощность малой ГЭС, если напор водохранилища H в засушливый период уменьшится в n раз, а расход воды V сократится на m %? Потери в гидротехнических сооружениях, водоводах, турбинах и генераторах считать постоянными.

Варианты заданий для контрольной работы приведены в таблице Б1.

Таблица Б1 – Варианты заданий для контрольной работы

Номер задачи	Величины, единицы измерения	Численные значения величин, выбираемые по последней цифре шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	n	243	253	263	273	283	293	303	313	323	333
	$F_z, \text{м}^2$	64	61	58	55	52	49	46	43	40	37
	$t, ^\circ\text{C}$	700	680	660	640	620	580	560	540	520	600
2	$N, \text{МВт}$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	$t_1, ^\circ\text{C}$	30	30	28	28	26	26	24	23	21	20
	$t_2, ^\circ\text{C}$	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
3	$h, \text{км}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
	$z, \text{км}$	2,5	3,0	3,5	4,0	3,5	3,0	2,5	4	3,5	3
	$dT/dz, ^\circ\text{C/км}$	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30
4	n	24	20	18	16	14	12	10	8	6	4
	η	0,7	0,7	0,68	0,68	0,66	0,66	0,64	0,62	0,6	0,6
5	$Q, \text{ГДж}$	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,56	0,64	0,62	0,60	0,58
	$t_1, ^\circ\text{C}$	52	50	54	50	52	54	52	50	52	50
	$t_2, ^\circ\text{C}$	31	30	29	28	27	31	30	29	28	27
6	$F, \text{км}^2$	400	700	1000	1500	2000	2200	2500	3000	3500	4000
	$R_{\text{ср}}, \text{м}$	8,0	7,5	7,2	7,0	6,8	6,5	6,0	5,4	5,2	5,0
7	n	3	2	1,2	1,5	3	2	1,2	1,5	3	2
	m	30	40	20	30	50	30	10	20	40	20

Темы рефератов и докладов

1. Классификация возобновляемых источников энергии, достоинства и недостатки.
2. Состояние и перспективы использования возобновляемых источников энергии в мировой энергетике.
3. Политика России в области развития возобновляемых источников энергии. Стратегические цели, проблемы.
4. Состояние и перспективы использования возобновляемых источников энергии в РФ.
5. Энергетический потенциал возобновляемых источников энергии в Калининградской области.
6. Основные международные и российские нормативные документы в области возобновляемой энергетики.
7. Классификация солнечных энергетических установок.
8. Основные направления развития солнечной энергетики в России и в мире.
9. Солнечные тепловые электростанции в мировой гелиоэнергетике.
10. Солнечные фотоэлектрические станции в России и в мире.
11. Фотоэлектрические преобразования в солнечных элементах. Принцип действия и эксплуатация солнечных батарей.
12. Типы и принцип действия солнечных коллекторов.
13. Использование солнечной энергии для теплоснабжения. Пассивные и активные солнечные системы. «Солнечный дом».
14. Использование солнечной энергии для получения холода.
15. Солнечное опреснение засоленных вод.
16. Природа возникновения ветров. Основные характеристики ветров. Ветроэнергетический кадастр.
17. Типы ветроэнергетических установок и их характеристики.
18. Развитие мировой ветроэнергетики.
19. Ветроэнергетика в России: состояние и перспективы развития.
20. Методы аккумулирования энергии от ветроэнергетических установок.
21. Использование геотермальной энергии в мире.
22. Геотермальные электростанции в России.
23. Системы геотермального теплоснабжения с применением тепловых насосов.
24. Зарубежный опыт использования энергии биомассы.
25. Состояние и перспективы использования энергии биомассы в России.
26. Биоэнергетический потенциал Калининградской области.
27. Принципы получения биогаза из биомассы. Биогазовые установки.

28. Древесное топливо: виды, производство, способы использования. Газогенераторы для биомассы.
29. Мировой опыт в области обращения с твердыми коммунальными отходами.
30. Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами в РФ.
31. Технологии термической переработки твердых коммунальных отходов.
32. Концепция комплексных районных тепловых электростанций (КРТС).
33. Использование биомассы в транспортном секторе.
34. История создания гидроэлектростанций.
35. Развитие мировой гидроэнергетики. Крупнейшие ГЭС.
36. Гидроэнергетика в России: динамика развития.
37. Малые ГЭС России и Калининградской области.
38. Преимущества и недостатки ГЭС. Аварии на гидроэлектростанциях.
39. Гидравлический таран.
40. Устройства для использования энергии волн: действующие установки и проекты.
41. Приливные электростанции в России и в мире.
42. Проекты по использованию тепловой энергии океана.
43. Вторичные энергоресурсы и методы их использования.
44. Способы аккумулирования электрической энергии.
45. Перспективы развития водородной энергетики.

Образец оформления титульного листа индивидуального задания/контрольной работы

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт морских технологий, энергетики и строительства
Кафедра энергетики

Индивидуальное расчетное задание/
контрольная работа
допущено к защите:
должность (звание), ученая степень
_____ Фамилия И. О.
(подпись)
«__» _____ 202__ г.

Индивидуальное расчетное задание/
контрольная работа
защищено:
должность (звание), ученая степень
_____ Фамилия И. О.
(подпись)
«__» _____ 202__ г.

**ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ/
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА**

по дисциплине
«Техническая термодинамика»

Вариант № ____

Работу выполнил:
студент гр. _____
_____ Фамилия И. О.
(подпись)
«__» _____ 202__ г.

Калининград
202__

Образец оформления титульного листа реферата

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт морских технологий, энергетики и строительства
Кафедра энергетики

Реферат по дисциплине
«Возобновляемые источники энергии»
Тема № ____

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ
В МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

Работу принял:
должность (звание), ученая степень
_____ Фамилия И. О.
(подпись)
«__» _____ 202__ г.

Работу выполнил:
студент гр. _____
_____ Фамилия И. О.
(подпись)
«__» _____ 202__ г.

Калининград
202__

Образец оформления списка литературы

Книги одного-трех авторов

1. Алхасов, А. Б. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / А. Б. Алхасов. – Москва: МЭИ, 2011. – 270 с.
2. Алешина, А. С. Газификация твердого топлива: учебное пособие / А. С. Алешина, В. В. Сергеев. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического университета, 2010. – 202 с.

Книги более трех авторов

1. Комплексные районные тепловые станции (концепция) / В. Е. Накоряков [и др]. – Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 1996. – 15 с.
2. Обработка осадков городских сточных вод: учебное пособие / Л. Р. Хисамеева, А. С. Селюгин, Р. Н. Абитов, А. В. Бусарев, Н. С. Урмитова. – Казань: Изд-во Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2016. – 105 с.

Книга, не имеющая индивидуальных авторов (под редакцией)

1. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. Информационно-методическое издание. – Москва: Издательство «Перо», 2016. – 204 с.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / под ред. Н. В. Кузнецова. – Москва: Энергия, 1973. – 296 с.

Методические рекомендации и пособия

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: методическое пособие к выполнению контрольного задания по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 140101.65 – Тепловые электрические станции / В. В. Селин; КГТУ. – Калининград: КГТУ, 2005. – 20 с.
2. Топорен, С. С. Методическое пособие по дисциплине «Инновационные технологии и оборудование систем теплогазоснабжения и вентиляции». Часть 1. Проектирование теплонасосной системы теплоснабжения жилого дома / С. С. Топорен, О. Н. Зайцев. – Симферополь, 2019. – 88 с.

Статьи из журналов, периодических изданий

Если авторов от одного до трех:

1. Белов, Г. В. Органический цикл Ренкина и его применение в альтернативной энергетике / Г. В. Белов, М. А. Дорохова // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2014. – № 2. – С. 99–124.

2. Говорин, А. В. Воздушные ТН. Варианты применения и эксплуатации [Электронный ресурс] / А. В. Говорин // Журнал «СОК». – 2014. – № 10. – URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/vozdushnye-tn-varianty-primeneniya-i-ekspluatacii> (дата обращения: 02.04.2022).

3. Селин, В. В. Место и роль малой энергетики в энергобалансе Калининградской области / В. В. Селин, Е. А. Беркова // Известия КГТУ. – 2010. – № 17. – С. 108–112.

Если авторов более трех:

Общие принципы переработки отходов с извлечением их энергетического потенциала на основе плазменных технологий. 2. Газификация иловых осадков станций водоочистки / В. А. Жовтянский, В. Н. Орлик, С. В. Петров, М. В. Якимович // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2016. – № 3. – С. 25–42.

Статьи из сборника

1. Селин, В. В. Исследование возможностей повышения эффективности работы теплофикационной установки, утилизирующей древесные отходы / В. В. Селин, С. В. Юрков, Е. А. Беркова // Балтийский морской форум: материалы VIII Международного Балтийского морского форума, 5–10 окт. 2020 г.: в 6-ти томах. Т. 2: Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии. – Калининград: БГАРФ, 2020. – С. 198–203.

2. Селин, В. В. К вопросу о разработке стратегии развития региональной энергетики / В. В. Селин // Надежность и эффективность технических систем: международный сборник научных трудов / КГТУ, Морская академия. – Щецин, Калининград, 2009. – С. 112–122.

Нормативно-технические документы

1. ГОСТ Р 54865-2011 Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с тепловыми насосами. – Москва: Стандартинформ, 2012.

2. ТСН 23-314-2000-КалО. Территориальные строительные нормы Калининградской области. Нормативы (нормы) по энергосберегающей теплозащите жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294848/4294848530.htm> (дата обращения: 10.04.2022).

Сетевые ресурсы

1. Башканова, В. Шпалы горят чисто [Электронный ресурс] / В. Башканова. – URL: <https://gudok.ru/content/infrastructure/1487227/> (дата обращения: 22.08.2022).

2. Государственный доклад об экологической обстановке в Калининградской области в 2018 году [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ecatk.ru/index.php> (дата обращения: 20.08.2022).

3. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]. – URL: <http://government.ru/news/39847/> (дата обращения: 31.03.2022).

4. Микротурбины Capstone [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.promprivod.ru/pages/mikroturbiny-capstone.htm> (дата обращения: 29.06.2022).

Учебное издание

Елена Анатольевна Беркова

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Редактор М. А. Дмитриева

Подписано в печать 18.09.2023 г. Формат 60х90 1/16. Уч.-изд. л. 3,7.
Печ. л. 3,3. Тираж 27 экз. Заказ № 52

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1