

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Минцаев Магомед Шавалович

Должность: Ректор

Дата подписания: 02.06.2026

Уникальный программный ключ:

236bcc35c296f119d6aafdc22850621db52dbc67971a86605a3825f7a4304cc

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.Д. МИЛЛИОНЩИКОВА**

Кафедра «Электротехника и электропривод»

УТВЕРЖДЕН
на заседании кафедры
« 30 » 05 2026 г., протокол № 5
Заведующий кафедрой
Р. А-М. Магомадов

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Проектирование и эксплуатация геотермальных станций

Направление

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки

«Геотермальная электростанция»

Квалификация (степень) выпускника

Магистр

Составитель

/Абдулхакимов У.И./

Грозный 2026

ПАСПОРТ
ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Изоляция и перенапряжение в электроэнергетических системах

(наименование дисциплины)

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1.	Источники тепла в недрах Земли и закономерности его передачи	ПК-2, ПК-5	Собеседование Практическая работа
2.	Этапы и стадии проектирования, баланс мощности и энергии энергосистемы геотермальных станций	ПК-2, ПК-5	Собеседование Практическая работа
3.	Обоснование расчетных условий для проектирования и развития энергосистем геотермальных станций	ПК-2, ПК-5	Собеседование Самостоятельная работа
4.	Многолетнее регулирование, резервы мощности в энергосистеме: нагрузочный, аварийный и ремонтный резервы геотермальных станций	ПК-2, ПК-5	Собеседование Практическая работа
5.	Общие требования к эксплуатации, электрическое оборудование геотермальных станций. Оперативно диспетчерское управление	ПК-2, ПК-5	Собеседование Самостоятельная работа
6.	Пожарная безопасность геотермальных станций	ПК-2, ПК-5	Собеседование Практическая работа
7.	Охрана труда и правила работы с персоналом в организациях, эксплуатирующих геотермальные станции	ПК-2, ПК-5	Собеседование Самостоятельная работа
8.	Государственный надзор в организациях, эксплуатирующих геотермальных станций. Обеспечение безопасности геотермальных станций	ПК-2, ПК-5	Собеседование Практическая работа

ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	<i>Собеседование</i>	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	<i>Контрольная работа</i>	Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу учебной дисциплины.	Комплект контрольных заданий по вариантам
3	<i>Расчетно- графическая работа</i>	Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом.	Комплект заданий для выполнения расчетно-графической работы
4	<i>Творческое задание</i>	Частично регламентированное задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее диагностировать умения, интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся.	Темы групповых и/или индивидуальных творческих заданий

ВОПРОСЫ ДЛЯ СОБЕСЕДОВАНИЯ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ)

Раздел Источники тепла в недрах Земли и закономерности его передачи

1. Термические свойства горных пород.
2. Виды теплопередачи.
3. Геотермический градиент.
4. Виды ресурсов и запасов геотермальной энергии.
5. Происхождение подземных вод.
6. Зональность подземных вод.

Раздел Технологии добычи и использования геотермальных ресурсов

1. Теплоэнергетический потенциал ресурсов термальных вод.

Раздел Расчет противоточного и прямоточного внутрискважинных теплообменников, анализ полученных

1. Состояние и перспективы развития геотермальной энергетики в России и за рубежом.
2. Геотермальная скважина.
3. Горизонтальная скважина.
4. Теплообменные аппараты.
5. Принципиальные схемы геотермального теплоснабжения.
6. Геотермальная циркуляционная система.
7. Извлечение петрогеотермальной энергии.
8. Коррозия и солеотложение в геотермальных системах.

Раздел Использование геотермальной энергии для выработки электроэнергии

1. Развитие геотермальной электроэнергетики.
2. Технологические схемы геотермальных электростанций (ГеоЭС).
3. Бинарные ГеоЭС.

Раздел Тепломассоперенос в системах по добыче геотермального теплоносителя

1. Исследование гидродинамического и теплового режимов в скважинах по совместно-раздельной добыче.
2. Теплопередача во внутрискважинных теплообменниках.
3. Съем тепла с горной породы скважинным теплообменником.

Раздел «Использование геотермальной энергии для выработки тепловой энергии»

1. Принципиальные схемы геотермального теплоснабжения.
2. Комплексные геотермальные системы теплоснабжения.

Критерии оценки ответов на теоретические вопросы (текущий контроль):

- ✓ результат, содержащий полный правильный ответ, полностью – соответствующий требованиям критерия, – максимальное количество баллов;
- ✓ результат, содержащий неполный правильный ответ (степень полноты – ответа – более 60%) или ответ, содержащий незначительные неточности, т.е. ответ, имеющий незначительные отступления от требований критерия, – 75% от максимального количества баллов;
- ✓ результат, содержащий неполный правильный ответ (степень полноты – ответа – от 30 до 60%) или ответ, содержащий значительные неточности, т.е. ответ, имеющий значительные отступления от требований критерия – 40 % от максимального количества баллов;

- ✓ результат, содержащий неполный правильный ответ (степень полноты – ответа – менее 30%), неправильный ответ (ответ не по существу задания) или отсутствие ответа, т.е. ответ, не соответствующий полностью требованиям критерия, – 0 % от максимального количества баллов;

НАИМЕНОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ)

1. Использование геотермальной энергии для выработки тепловой и электрической энергии
2. Физические основы процессов преобразования солнечной энергии
3. Производство биомассы для энергетических целей
4. Термохимические процессы биоэнергетики

Практическая работа №1

«Использование геотермальной энергии для выработки тепловой и электрической энергии»

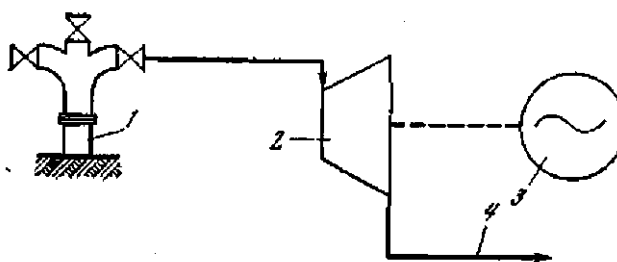
Цель работы: изучить работу геотермальных станций различного типа:

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия.
2. Нарисовать схемы установок.
3. Рассказать принцип работы.

Геотермальные станции в вулканических районах базируются на месторождениях пароводяной смеси, добываемой из природных подземных трещинных коллекторов с глубины 0,5-3 км. Пароводяная смесь в среднем имеет степень сухости 0,2-0,5 и энтальпию 1500-2500 кДж/кг. В среднем одна эксплуатационная скважина обеспечивает электрическую мощность 3-5 МВт, средняя стоимость бурения составляет 900 долларов за метр.

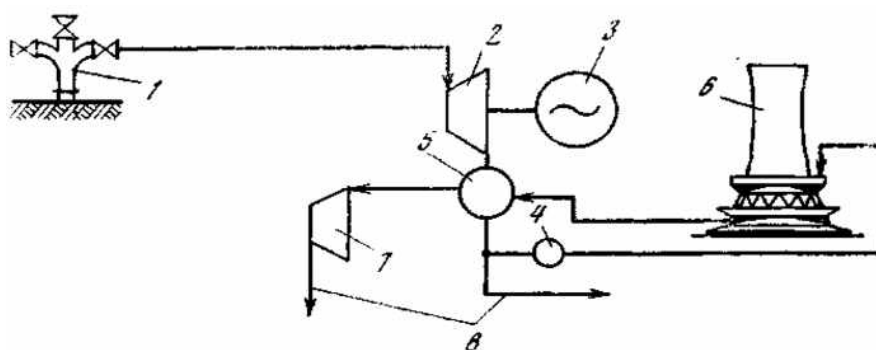
Геотермальная электростанция с непосредственным использованием природного пара. Самая простая и доступная геотермальная энергоустановка представляет собой паротурбинную установку с противодавлением. Природный пар из скважины подается прямо в турбину с последующим выходом в атмосферу или в устройство, улавливающее ценные химические вещества. В турбину с противодавлением можно подавать вторичный пар или пар, получаемый из сепаратора. По этой схеме электростанция работает без конденсаторов, и отпадает необходимость в компрессоре для удаления из конденсаторов неконденсирующихся газов. Эта установка наиболее простая, капитальные и эксплуатационные затраты на нее минимальны. Она занимает небольшую площадь, почти не требует вспомогательного оборудования и ее легко приспособить как переносную геотермальную электростанцию (рис. 1).



1 – скважина; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – выход в атмосферу или на химический завод.

Рис. 1. Схема геотермальной электростанции с непосредственным использованием природного пара.

Геотермальная электростанция с конденсационной турбиной и прямым использованием природного пара – это наиболее современная схема для получения электрической энергии. Пар из скважины подается в турбину. Отработанный в турбине, он попадает в смешивающий конденсатор. Смесь охлаждающей воды и конденсата уже отработанного в турбине пара выпускается из конденсатора в подземный бак, откуда забирается циркуляционными насосами и направляется для охлаждения в градирню. Из градирни охлаждающая вода опять попадает в конденсатор (рис. 2). По такой схеме работает геотермальная электростанция Лардерелло-3, использующая природный пар, самая крупная в Италии. На электростанции установлено четыре турбогенератора мощностью по 26 тыс. кВт и два турбогенератора по 9 тыс. кВт. Последние предназначены для покрытия собственных нагрузок.

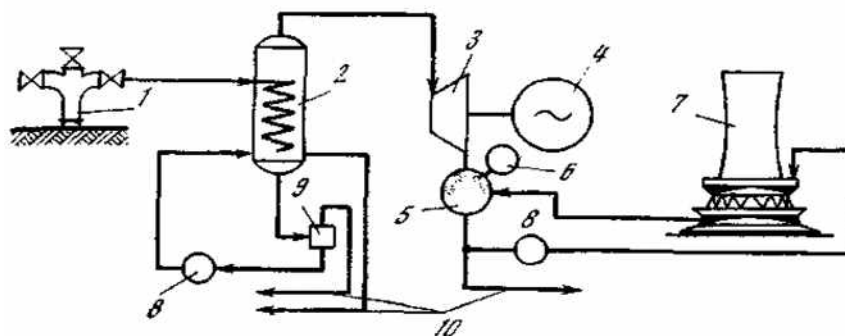


1 – скважина; 2 – турби-на; 3 – генератор; 4 – насос; 5 – конденсатор; 6 – градирня; 7 – компрессор; 8 – сброс.

Рис. 2. Схема геотермальной электростанции с конденсационной турбиной и прямым использованием природного пара:

Ни один из установленных здесь турбогенераторов в течение многих лет не переводился в резерв. Коэффициент использования установленной мощности составляет 98%. Стабильная работа геотермальной электростанции Лардерелло-3 открыла путь к конструированию новых электростанций с использованием конденсационных турбин. По такой схеме с некоторыми изменениями работают многие геотермальные электростанции: Лардерелло-2 (Италия), Вайракей (Новая Зеландия) и др. Благодаря техническим усовершенствованиям потребление пара на каждый киловатт мощности стало значительно меньше. Сейчас расход пара на новой электростанции Лаго (Италия) составляет уже 8 кг/кВт-ч.

Геотермальная электростанция с паропреобразователем. Конденсационная турбина с паропреобразователем работает на вторичном паре. Эти станции наиболее выгодны там, где природный пар имеет высокую температуру и большое содержание газов. Схема электростанции следующая: природный пар из скважины поступает в паропреобразователь и свое тепло отдает вторичному теплоносителю, после чего чистый вторичный пар направляется в конденсационную турбину. Отработанный пар идет в конденсатор. Неконденсирующиеся газы, содержащиеся в паре, отделяются в паропреобразователе и выбрасываются либо в атмосферу, либо идут на химические заводы. Недостатком этой схемы является снижение параметров пара перед турбиной. По сравнению с электростанциями, непосредственно использующими природный пар, удельный расход пара здесь меньше на 30%. Геотермальная электростанция, работающая по этой схеме (рис. 3), позволяет полностью использовать все химические вещества, содержащиеся в природном паре.



1 – скважина; 2 – паропреобразователь; 3 – турбина; 4 – генератор; 5 – конденсатор;
6 – вакуумный насос; 7 – градирня; 8 – насос; 9 – дегазатор; 10 – сброс.

Рис. 3. Схема геотермальной электростанции с паропреобразователем.

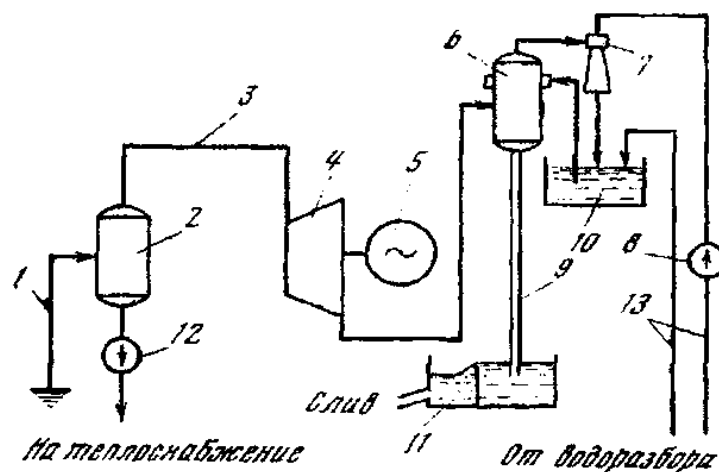
Геотермальные электростанции с конденсационной турбиной, работающие на отсепарированном паре, строятся там, где из скважины получают пар с большим содержанием воды. Пар или пароводяная смесь из скважины направляется в специальное устройство, расположенное на скважине. Под давлением в сепараторе происходит разделение пароводяной смеси на пар и воду. Отсепарированный пар по трубопроводу направляется в турбину и т.д. Конденсационные турбины, работающие на отсепарированном паре, нашли применение в строительстве геотермальных электростанций в России (Паужетское месторождение на Камчатке), Исландии (месторождение Хверагерди) и в других странах.

Рассмотренная схема имеет свои преимущества. Полученный в сепараторе пар практически не содержит газов, что облегчает работу турбин.

Для получения электрической энергии за счет глубинного тепла Земли и строительства опытно-промышленной геотермальной станции гидрогеологи-разведчики сочли наилучшим районом долину реки Паужетки, расположенную на юге Камчатки, в 35 км от побережья Охотского моря. По предварительным данным, Паужетское геотермальное месторождение даст возможность получать 30-50 тыс. кВт электрической мощности.

Схема опытно-промышленной станции, предложенная институтом Теплоэлектропроект, представлена на рис 4.

Пароводяная смесь из скважины поступает в сепаратор (емкостью 10 м³, с нагрузкой парового объема 600-800 м³/час), расположенный на скважине. Здесь при давлении 1,5 атм происходит разделение пара и воды. Отсепарированный пар по паропроводу поступает к турбинам. Горячая вода с температурой 100-110 °С сбрасывается в реку, и только небольшая часть ее идет по трубам для отопления и горячего водоснабжения жилых зданий поселка и хозяйственных помещений.



1 – скважина; 2 – сепаратор; 3 – паропровод; 4 – турбина; 5 – генератор; 6 – смешивающий конденсатор; 7 – водоструйный эжектор; 8 – эжекторный насос; 9 – барометрическая труба; 10 – бак охлаждающей воды; 11 – сливной колодец; 12 – насос горячей воды; 13 – трубопровод холодной воды

Рис. 1. Схема Паужетской опытно-промышленной геотермальной электростанции:

Практическая работа №2

«Производство биомассы для энергетических целей»

Цель работы: изучить производство биомассы для энергетических целей, продукты производства энергетических ферм, энергетический анализ, пиролиз (сухая перегонка), газификация, установка для осуществления пиролиза, режимы работы установки пиролиза.

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия.
2. Нарисовать схемы установок.
3. Рассказать принцип работы

Термин энергетическая ферма используется в очень широком смысле, обозначая производство энергии в качестве основного или дополнительного продукта сельскохозяйственного производства, лесоводства, аква-культуры, а кроме того, те виды промышленной и бытовой деятельности, в результате которых образуются органические отходы. Основной целью переработки сырья могло бы быть исключительно производство энергии, но более выгодно найти наилучшее соотношение между получением из различных видов биомассы энергии и биотоплива. Наиболее характерный пример энергетических ферм представляют собой предприятия по выращиванию и комплексной переработке сахарного тростника. Производство зависит от сжигания отходов переработки тростника, необходимого для снабжения энергией всей технологической цепи. При надлежащей механизации можно было бы получить дополнительную энергию для производства на продажу побочных продуктов (патоки, химикатов, корма для животных, этилового спирта, строительных материалов, электроэнергии). Следует отметить, что этиловый спирт и электроэнергию можно использовать для выращивания культур и выполнения транспортных операций.

Развитие энергетики за счет использования сельскохозяйственных культур имеет как достоинства, так и недостатки. Один из наиболее существенных недостатков то, что производство энергии станет конкурировать с производством пищи. Крупномасштабное увеличение объема

производства биотоплива (например, этилового спирта) по этой причине может оказать существенное отрицательное влияние на мировой рынок пищевых продуктов. Вторым серьезным недостатком – возможность обеднения и эрозии почв в результате интенсификации выращивания «энергетических» культур. Очевидная стратегия спасения от этих явлений – выращивание культур, пригодных и для обеспечения человека (зерно), и для энергетических нужд при одновременном сокращении части урожая, скармливаемого животным. Пиролиз (сухая перегонка) Под пиролизом подразумеваются любые процессы, при которых органическое сырье подвергают нагреву или частичному сжиганию для получения производных топлив или химических соединений. Изначальным сырьем могут служить древесина, отходы биомассы, городской мусор и конечно уголь. Продуктами пиролиза являются газы, жидкий конденсат в виде смол и масел, твердые остатки в виде древесного угля и золы.

Газификация – это пиролиз, приспособленный для максимального получения производного газообразного топлива. Устройства для частичного сжигания биомассы, проектируемые в расчете на получение максимального выхода газов, называются **газогенераторами**. КПД пиролиза определяется как отношение теплоты сгорания производного топлива к теплоте сгорания используемой в процессе биомассы. Достижимый КПД весьма высок: 80-90%.

Чтобы процесс пиролиза шел успешно, должны соблюдаться определенные условия. Подаваемый материал предварительно сортируют для снижения негорючих примесей, подсушивают и измельчают. Критическим параметром, влияющим на температуру и на соотношение видов получаемых продуктов, является соотношение воздух – горючее. Проще всего управлять блоком, работающим при температуре ниже 600° С.

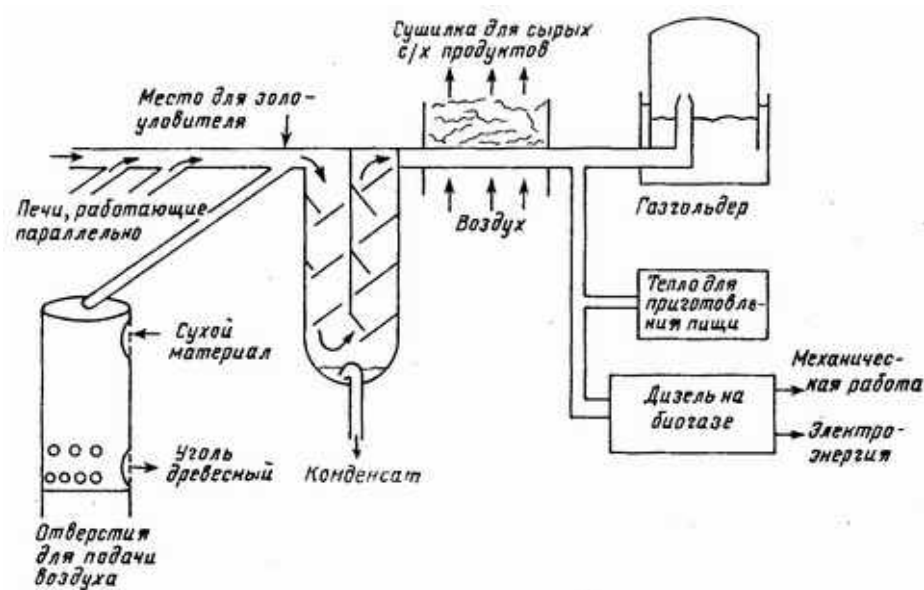


Рис. 1. Установка для осуществления пиролиза

Стадии перегонки:

1. 100-120 °С – подаваемый в газогенератор материал, опускаясь вниз, освобождается от влаги;
2. 275 °С – отходящие газы состоят в основном из N_2 , CO и CO_2 ; извлекаются уксусная кислота и метанол;
3. 280-350 °С – начинаются экзотермические реакции, в процессе которых выделяется сложная смесь летучих химических веществ (кетоны, альдегиды, фенолы, эфиры);

4. выше 350 °С – выделяются все типы летучих соединений; одновременно с образованием CO происходит увеличение образования H_2 , часть углерода сохраняется в форме древесного угля, смешанного с зольными остатками.

Разновидности топлива, получаемого в результате пиролиза, обладают меньшей по сравнению с исходной биомассой суммарной энергией сгорания, но отличаются большей универсальностью применения.

Практическая работа №3 «Термохимические процессы биоэнергетики»

Цель работы: изучить производство альтернативных источников топлива из биоматериалов и химические процессы синтеза биотоплива из возобновляемой биомассы.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия.
2. Нарисовать схемы установок.
3. Рассказать принцип работы.

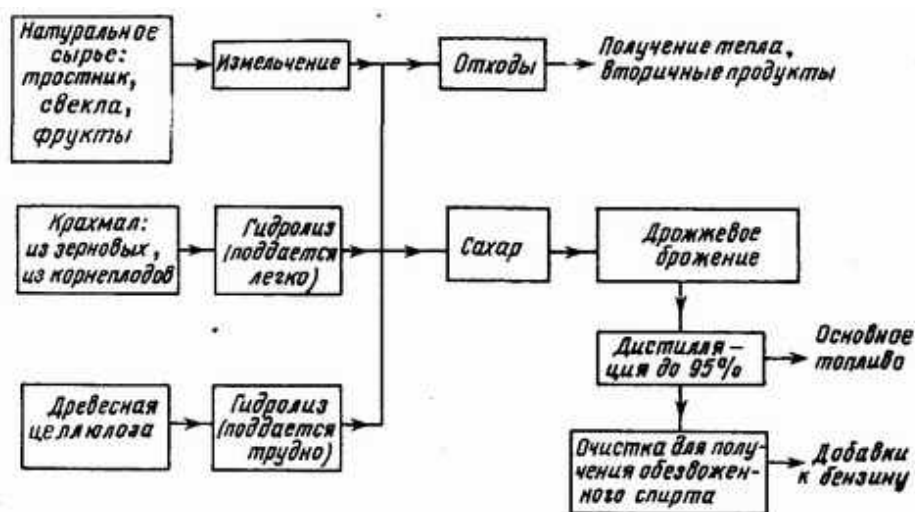
Биомасса может сжигаться или подвергаться пиролизу непосредственно после предварительной сортировки и измельчения. Однако, она может быть еще и обработана химически для того, чтобы получить исходный материал для спиртовой ферментации или вторичное топливо. Рассмотрим несколько наиболее важных примеров из большого числа возможных. Гидрогенизация. Измельченную, разложившуюся или переваренную биомассу, например навоз, нагревают в атмосфере водорода до температуры около 600 °С при давлении около 5 МПа. Получаемые при этом горючие газы, преимущественно метан и этан, при сжигании дают около 6 МДж на 1 кг сухого сырья. Гидрогенизация с применением CO и пара. Ведется аналогично предыдущему процессу, но нагревание производится в атмосфере CO и водяного пара при температуре 400 °С и давлении 5 МПа. Из продуктов реакции извлекается синтетическая нефть, которую можно использовать как топливо. Соответствующие реакции идут в присутствии катализатора. Последняя реакция описывает превращение углеводов в нефтеподобные углеводороды. Эффективность преобразования энергии в этом процессе составляет примерно 65%.

Гидролиз под воздействием кислот и ферментов. Целлюлоза, составляющая основную массу сухого остатка растений (от 30 до 50%), трудно поддается гидролизу и сбраживанию с помощью микроорганизмов. Превращение целлюлозы в сахара, которые могут сбраживаться, возможно путем нагревания в серной кислоте или под воздействием фермента целлюлозы некоторых микроорганизмов. Полученные продукты можно использовать в качестве пищи для крупного рогатого скота.

Преобразование масла кокосовых орехов в эфиры. Белая мякоть кокосовых орехов (копра) примерно на 50% состоит из масла. Кокосовое масло может быть непосредственно использовано в качестве дизельного топлива в двигателях, оснащенных специальной системой подачи, однако при этом образуется ядовитый дым, кроме того, при температуре ниже + 23 °С масло затвердевает. Добавив в масло 20% (по объему) метилового или этилового спирта, можно получить летучие эфиры, являющиеся прекрасным дизельным топливом, и глицерол. Получаемые эфиры имеют теплоту сгорания около 38 МДж/кг, что выше, чем у перерабатываемого масла, и приближается к соответствующему показателю бензина (46 МДж/кг). Другие растительные масла также могут быть переработаны аналогичным образом.

Метиловый спирт в качестве топлива. Метиловый спирт (метанол) – ядовитая жид-кость, получаемая в процессе каталитической реакции между H_2 и CO при температуре 330 °С и давлении

15 МПа: $2H_2 + CO = CH_3OH$. Эти газы – компоненты синтетического газа, они могут получаться при газификации биомассы. Метанол можно использовать в качестве заменителя бензина с теплотой сгорания 23 МДж/кг. Спиртовая ферментация (брожение)- этиловый спирт C_2H_5OH в естественных условиях образуется из сахаров соответствующими микроорганизмами в кислой среде, pH – от 4 до 5. Подобный процесс спиртовой ферментации во всем мире используют для получения питьевого спирта. Наиболее часто используемые микроорганизмы – дрожжи вида *Saccharomyces cerevisiae* – погибают при концентрации спирта выше 10%, поэтому для повышения концентрации используют перегонку или фракционирование. После перегонки (дистилляции) получается кипящая при постоянной температуре смесь: 95% этанола и 5% воды. Обезвоженный этанол в промышленных условиях производится путем совместной перегонки с растворителем типа бензола. При брожении теряется лишь 0,5% энергетического потенциала сахаров, остальные затраты энергии связаны с перегонкой. Необходимую тепловую энергию можно получить, сжигая остающиеся отходы биомассы. Ниже перечислены процессы производства этанола из различных культур в порядке возрастания трудностей переработки.



1. Непосредственно из сахарного тростника. Обычно промышленную сахарозу получают из сока сахарного тростника, а остающуюся патоку используют для получения спирта
2. Из сахарной свеклы вначале получают сахар для сбраживания, но свекла не дает достаточного количества отходов для получения тепла. Из-за этого этанол дорожает.
3. Из растительного крахмала, например, из злаковых или маниока; крахмал можно также подвергнуть гидролизу на сахар. Это основной энерго-аккумулирующий углевод растений.
4. Из целлюлозы, которая содержит до 40% всей сухой биомассы и потенциально является обширным возобновляемым источником энергии. Имеет полимерную структуру связей молекул глюкозы. Соответствующие связи молекул глюкозы в целлюлозе значительно труднее поддаются гидролизу, чем у крахмала. Использование различных видов отходов биомассы для выработки электроэнергии и обеспечения производства теплом – основа рентабельности получения этанола. В табл. 1 приведены данные по производству этанола из некоторых технических культур.

Таблица 1.

Выход этанола из некоторых технических культур

Культура	Выход этанола из 1 т культуры, л/т
Сахарный тростник	70
Маниок	180
Сладкое сорго	86
Сладкий картофель	125
Зерновые (кукуруза)	370
Плодовые	160

Использование этанола в качестве топлива. **Обезвоженный этанол** – жидкость в интервале температур от -117 до $+78$ °С с температурой воспламенения 423 °С. Применение его в двигателе внутреннего сгорания требует специального карбюратора. Поэтому и смешивают бензин с обезвоженным этанолом (20 % по объему) и используют эту смесь (газохол) в обычных бензиновых двигателях. **Газохол** в настоящее время – обычное топливо в Бразилии (этанол там получают из сахарного тростника и маниока), используют его и в США (этанол из кукурузы). Важная особенность этанола – способность выдерживать ударные нагрузки без взрыва, из-за этого он гораздо предпочтительнее добавок из тетраэтилсвинца, вызывающего серьезные загрязнения атмосферы. Превосходные свойства этанола как горючего обеспечивают двигателям 20%-ное увеличение мощности по сравнению с чистым бензином. Массовая плотность и теплотворная способность этанола ниже, чем бензина, соответственно теплота сгорания (24 МДж/м^3) на 40% ниже чем бензина (39 МДж/м^3).

Однако лучшее горение этанола компенсирует это уменьшение теплотворной способности. Опыт подтверждает, что двигатели потребляют примерно одинаковое количество газохола и бензина.

Практическая работа №4

«Физические основы процессов преобразования солнечной энергии»

Цель работы: изучить физические основы процессов преобразования солнечной энергии: интенсивность солнечного излучения, фотоэлектрические свойства р–п перехода, конструкция простейшего солнечного элемента, конструкции и материалы солнечных элементов-, аморфный кремний, арсенид галлия, поликристаллические тонкие пленки, теллурид кадмия, органические материалы

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть лабораторного занятия.
2. Нарисовать схему фотоэлемента, рассказать принцип работы.
3. Дать химические формулы различных материалов для солнечных элементов.

Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция на Солнце. Основная часть этой энергии испускается в виде электромагнитного излучения в диапазоне $0,2\text{--}3$ мкм. При прохождении через атмосферу солнечный свет ослабляется, в основном из-за поглощения инфракрасного излучения парами воды, ультрафиолетового излучения – озоном и рассеяния излучения молекулами газов и находящимися в воздухе частицами пыли и аэрозолями. Параметром, отражающим влияние атмосферы на интенсивность и спектральный состав солнечного излучения,

доходящего до земной поверхности, является атмосферная (или воздушная) масса (АМ). При нулевой воздушной массе AM_0 интенсивность излучения равна $EC = 1360 \text{ Вт/м}^2$.

Величина AM_1 соответствует прохождению солнечного излучения через безоблачную атмосферу до уровня моря при зенитальном расположении Солнца. Наиболее характерной в земных условиях является величина $AM_{1,5}$ ($\theta \approx 42^\circ$). Она принята за стандартную при интегральной поверхностной плотности солнечного излучения $EC = 835 \text{ Вт/м}^2$, что необходимо при обеспечении сравнимости результатов исследований различных солнечных элементов.

2. Фотоэлектрические свойства p–n перехода Простейшая конструкция солнечного элемента на основе монокристаллического кремния показана на рис. 1. На малой глубине от поверхности кремниевой пластины p-типа сформирован p–n-переход с тонким металлическим контактом. На тыльную сторону пластины нанесен сплошной металлический контакт.

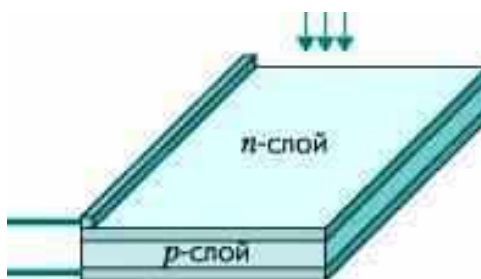


Рис. 1. Конструкция простейшего солнечного элемента

Пусть p–n-переход расположен вблизи от освещаемой поверхности полупроводника. При использовании солнечного элемента в качестве источника электроэнергии к его выводам должно быть подсоединено сопротивление нагрузки R_n .

3. Конструкции и материалы солнечных элементов (СЭ) Производство структур на основе монокристаллического кремния – процесс технологически сложный и дорогостоящий. Поэтому внимание было обращено на такие материалы, как сплавы на основе аморфного кремния (a-Si:H), арсенид галлия и поликристаллические полупроводники.

Аморфный кремний выступил в качестве более дешевой альтернативы монокристаллическому. Первые СЭ на его основе были созданы в 1975 году. Оптическое поглощение аморфного кремния в 20 раз выше, чем кристаллического, для существенного поглощения видимого света достаточно пленки a-Si:H толщиной 0,5–1,0 мкм вместо дорогостоящих кремниевых 300-мкм подложек. Изделия на основе a-Si:H производят при более низких температурах (300°C): можно использовать дешевые стеклянные подложки, что сократит расход кремния в 20 раз.

КПД экспериментальных элементов на основе a-Si:H – 12%, КПД кристаллических кремниевых СЭ (~15%).

4. Арсенид галлия – один из наиболее перспективных материалов для создания высокоэффективных солнечных батарей. Это объясняется следующими его особенностями:

- почти идеальная для однопереходных солнечных элементов ширина запрещенной зоны 1,43 эВ;
- повышенная способность к поглощению солнечного излучения, $\delta = 1\text{--}5 \text{ мкм}$
- высокая радиационная стойкость,
- относительная нечувствительность к нагреву батарей на основе GaAs;
- характеристики сплавов GaAs с алюминием, мышьяком, фосфором или индием дополняют характеристики GaAs, что расширяет возможности при проектировании солнечных элементов.

Главное достоинство арсенида галлия и сплавов на его основе широкий диапазон возможностей конструирования СЭ. Типичный солнечный элемент на основе GaAs состоит из очень тонкого слоя AlGaAs в качестве окна. Основной недостаток арсенида галлия – высокая стоимость. Для

удешевления производства предлагается формировать СЭ на более дешевых подложках; выращивать слои GaAs на удаляемых подложках или подложках многократного использования.

5. Поликристаллические тонкие пленки также весьма перспективны для солнечной энергетики. Чрезвычайно высока способность к поглощению солнечного излучения у диселенида меди и индия (CuInSe_2) – 99 % света поглощается в первом микроне этого материала (ширина запрещенной зоны 1,0 эВ). Наиболее распространенным материалом для изготовления окна солнечной батареи на основе CuInSe_2 является CdS . Иногда для улучшения прозрачности окна в сульфид кадмия добавляют цинк. Немного галлия в слое CuInSe_2 увеличивает ширину запрещенной зоны, что приводит к росту напряжения холостого хода и, следовательно, повышению эффективности устройства. Один из основных способов получения CuInSe_2 – электрохимическое осаждение из растворов CuSO_4 , $\text{In}_2(\text{SO}_4)_3$ и SeO_2 в деионизованной воде при соотношении компонентов $\text{Cu}:\text{In}:\text{Se}$ как 1:5:3 и $\text{pH} \gg 1,2-2,0$.

6. Теллурид кадмия (CdTe) – еще один перспективный материал для фотовольтаики. У него почти идеальная ширина запрещенной зоны (1,44 эВ) и очень высокая способность к поглощению излучения. Пленки CdTe достаточно дешевы в изготовлении. Кроме того, технологически несложно получать разнообразные сплавы CdTe с Zn , Hg и другими элементами для создания слоев с заданными свойствами. Элементы на основе CdTe включают гетеропереход с CdS в качестве оконного слоя. Оксид олова используется как прозрачный контакт и просветляющее покрытие. Пленки CdTe обладают высокой подвижностью носителей заряда, а солнечные элементы на их основе – высокими значениями КПД, от 10 до 16%.

7. Органические материалы занимают среди солнечных элементов особое место. Коэффициент полезного действия солнечных элементов на основе диоксида титана, покрытого органическим красителем, весьма высок – ~11 %. Основа солнечных элементов данного типа – широкозонный полупроводник, обычно TiO_2 , покрытый монослоем органического красителя. Принцип работы элемента основан на фотовозбуждении красителя и быстрой инжекции электрона в зону проводимости TiO_2 . При этом молекула красителя окисляется, через элемент идет электрический ток и на платиновом электроде происходит восстановление трииодида до иодида. Затем иодид проходит через электролит к фотоэлектроду, где восстанавливает окисленный краситель.

Критерии оценки знаний на защите практической работы:

Каждая лабораторная работа оценивается отдельно и за нее можно получить максимум – 5 баллов. Количество баллов за каждый элемент оценивания представлено ниже:

«1» балл - Выполнение практической работы (подготовленность к выполнению, осознание цели работы, методов собирания схемы, проведение измерений и фиксирования их результатов, прилежание, самостоятельность выполнения, наличие и правильность оформления необходимых материалов для проведения работы – схема соединений, таблицы записей и т.п.);

«1» балл – Оформление отчета по практической работе (аккуратность оформления результатов измерений, правильность вычислений, правильность выполнения графиков, векторных диаграмм и др.) ;

«1» балл – Правильность и самостоятельность выбора формул для расчетов при оформлении результатов работы;

«1» балл – правильность построения графиков, умение объяснить их характер;

«1» балл – ответы на контрольные вопросы к практической работе.

КОМПЛЕКТ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ (РУБЕЖНЫЙ КОНТРОЛЬ)

3 семестр
Вопросы к зачету по дисциплине

1. Основные термические свойства горных пород.
2. Что влияет на теплопроводность горной породы?
3. От чего зависит температуропроводность горной породы?
4. Виды теплопередачи в горной породе.
5. Виды геотермальных ресурсов.
6. Что такое условное топливо?
7. В чем заключается оценка гидрогеотермальных ресурсов?
8. Какие методы используют при оценке запасов месторождений теплоэнергетических вод?
9. Как определяется теплоэнергетический потенциал геотермальной скважины?
10. Категории эксплуатационных запасов термальных вод.
11. Факторы влияют на дебит геотермальной скважины?
12. Типы вод по условиям их образования.
13. Термальные воды по условиям их залегания.
14. Гидродинамические зоны пластовых вод.
15. Классификация теплоэнергетических вод.
16. На какие типы подразделяют месторождения теплоэнергетических вод?
17. Мероприятия, снижающие солеотложение и коррозию в системах геотермального теплоснабжения.
18. Преимущества горизонтальных скважин.
19. Преимущества и недостатки геотермальных циркуляционных систем?
20. Технологию извлечения петрогеотермальной энергии.
21. Перечислите области использования геотермального тепла.
22. От каких факторов зависит эффективность использования термальных вод?
23. Что такое коэффициент эффективности использования термоводозабора?
24. От чего зависит выбор схемы геотермального теплоснабжения?
25. Преимуществ комплексных геотермальных систем теплоснабжения.
26. Опыт использования геотермальных ресурсов для выработки электроэнергии.
27. От чего зависит тепловая схема ГеоЭС?
28. Преимущества и недостатки бинарной ГеоЭС.
29. Описание схемы ГеоЭС с двойным циклом.
30. Принципиальная тепловая схема теплового насоса и основной принцип его работы.
31. По каким признакам классифицирую тепловые насосы?
32. Что такое коэффициент преобразования теплового насоса?
33. Преимуществ теплонасосных систем теплоснабжения с низкопотенциальными термальными водами в качестве первичного источника тепла.
34. Система теплонасосного теплоснабжения с грунтовыми теплообменниками в вертикальных скважинах.
35. Эколого-экономические преимущества теплонасосных систем теплоснабжения
36. Описание физических свойств воды.
37. Одноконтурные ГеоТЭС
38. лассификация подземных вод по степени их минерализации.

39. Классификация подземных вод по химическому составу.
40. Факторы, влияющие на формирование химического состава подземных вод?
41. Типы термальных вод по газовому составу.
42. Тепловые насосы.
43. Теплонасосные системы теплоснабжения (ТСТ) с низкопотенциальными термальными водами.
44. Технология комплексной утилизации геотермальной энергии и растворенного газа.

*ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова*

БИЛЕТ № 1

Дисциплина Электрическая часть геотермальной электростанции

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 3

1. Основные термические свойства горных пород
2. Технология комплексной утилизации геотермальной энергии и растворенного газа

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

*ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова*

БИЛЕТ № 2

Дисциплина Электрическая часть геотермальной электростанции

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 3

1. Что влияет на теплопроводность горной породы?
2. Теплонасосные системы теплоснабжения (ТСТ) с низкопотенциальными термальными водами

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

*ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова*

БИЛЕТ № 3

Дисциплина Электрическая часть геотермальной электростанции

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 3

1. От чего зависит температуропроводность горной породы
2. Тепловые насосы

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

*ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова*

БИЛЕТ № 4

Дисциплина Электрическая часть геотермальной электростанции

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 3

1. Виды теплопередачи в горной породе
2. Типы термальных вод по газовому составу

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М.

Магомадов

*ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова*

БИЛЕТ № 5

Дисциплина Электрическая часть геотермальной электростанции

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 3

1. Виды геотермальных ресурсов
2. Факторы, влияющие на формирование химического состава подземных вод

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

*ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова*

БИЛЕТ № 6

Дисциплина Электрическая часть геотермальной электростанции

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 3

1. Что такое условное топливо?
2. Классификация подземных вод по химическому составу

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

*ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова*

БИЛЕТ № 7

Дисциплина Электрическая часть геотермальной электростанции
Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 3

1. В чем заключается оценка гидрогеотермальных ресурсов
2. Классификация подземных вод по степени их минерализации

Зав.кафедрой «ЭЭП»
Магомадов

Р.А-М.

*ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова*

БИЛЕТ № 8

Дисциплина Электрическая часть геотермальной электростанции
Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 3

1. Методы, используемые при оценке запасов месторождений теплоэнергетических вод
2. Какие ионы характеризуют химический состав подземных вод?

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

*ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова*

БИЛЕТ № 9

Дисциплина Электрическая часть геотермальной электростанции
Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 3

1. Как определяется теплоэнергетический потенциал геотермальной скважины?
2. Описание физических свойств воды

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

*ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова*

БИЛЕТ № 10

Дисциплина Электрическая часть геотермальной электростанции

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 3

1. Категории эксплуатационных запасов термальных вод
2. Коэффициент преобразования теплового насоса

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

*ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова*

БИЛЕТ № 11

Дисциплина Электрическая часть геотермальной электростанции

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 3

1. Факторы, влияющие на дебит геотермальной скважины
2. Описание схемы ГеоЭС с двойным циклом

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М.

Магомадов

*ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.Д. Миллионщикова*

БИЛЕТ № 12

Дисциплина Электрическая часть геотермальной электростанции

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 3

1. Преимущества и недостатки геотермальных циркуляционных систем
2. Преимущества и недостатки бинарной ГеоЭС

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

Критерии оценки выполнения письменной контрольной работы (рубежный контроль):

Критерии оценки ответов на теоретические вопросы:

- ✓ результат, содержащий полный правильный ответ, полностью– соответствующий требованиям критерия, – максимальное количество баллов;
- ✓ результат, содержащий неполный правильный ответ (степень полноты– ответа – более 60%) или ответ, содержащий незначительные неточности, т.е. ответ, имеющий незначительные отступления от требований критерия, – 75% от максимального количества баллов;
- ✓ результат, содержащий неполный правильный ответ (степень полноты– ответа – от 30 до 60%) или ответ, содержащий значительные неточности, т.е. ответ, имеющий значительные отступления от требований критерия – 40 % от максимального количества баллов;
- ✓ результат, содержащий неполный правильный ответ (степень полноты– ответа – менее 30%), неправильный ответ (ответ не по существу задания) или отсутствие ответа, т.е. ответ, не соответствующий полностью требованиям критерия, – 0 % от максимального количества баллов;

Баллы за теоретические вопросы выводятся как средний балл по заданным студенту вопросам, не считая количество «наводящих» и уточняющих вопросов.

Критерии оценок итогового контроля (зачет):

Зачтено	выставляется при условии, если студент показывает хорошие знания изученного учебного материала
Не зачтено	выставляется при наличии серьезных упущений в процессе изложения учебного материала

Критерии оценки выполнения письменной контрольной работы (рубежный контроль):

Критерии оценки ответов на теоретические вопросы:

- ✓ результат, содержащий полный правильный ответ, полностью– соответствующий требованиям критерия, – максимальное количество баллов;
- ✓ результат, содержащий неполный правильный ответ (степень полноты– ответа – более 60%) или ответ, содержащий незначительные неточности, т.е. ответ, имеющий незначительные отступления от требований критерия, – 75% от максимального количества баллов;
- ✓ результат, содержащий неполный правильный ответ (степень полноты– ответа – от 30 до 60%) или ответ, содержащий значительные неточности, т.е. ответ, имеющий значительные отступления от требований критерия – 40 % от максимального количества баллов;
- ✓ результат, содержащий неполный правильный ответ (степень полноты– ответа – менее 30%), неправильный ответ (ответ не по существу задания) или отсутствие ответа, т.е. ответ, не соответствующий полностью требованиям критерия, – 0 % от максимального количества баллов;

Баллы за теоретические вопросы выводятся как средний балл по заданным студенту вопросам, не считая количество «наводящих» и уточняющих вопросов.

Критерии оценок итогового контроля (экзамен):

Отлично	ответы содержательны и не содержат ошибок, даны ответы на дополнительные вопросы по другим темам курса
Хорошо	ответы содержат не принципиальные ошибки
Удовлетворительно	ответы содержат грубые ошибки
Неудовлетворительно	нет содержательного ответа на один из вопросов билета

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попель, О.С. Возобновляемая энергетика в современном мире [Электронный ресурс]: учебное пособие / О.С. Попель, В.Е. Фортов. — Электрон. текстовые данные. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 450 с. — 978-5-383-00959-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/57009.html>
2. Алхасов, А.Б. Возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Б. Алхасов. — Электрон. текстовые данные. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 271 с. — 978-5-383-00960-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55952.html>
3. Геотермальная энергетика / Томаров Г. В., Никольский А. И., Семенов В. Н., Шипков А. А. ; ред. Безруких П. П. - М. : Теплоэнергетик, 2015. - 301 с.
4. Возобновляемые источники энергии: справочник модуля /под ред. В. Ф. Белея, В. В. Селина, А.О. Задорожного, А. Ю. Никишина, Н.Н. Елагина, А.В. Соловья. –Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015.- С.257.
5. Алхасова, Д.А. Комплексное освоение геотермальных ресурсов / А.Б. Алхасов, Д.А. Алхасова, Р.М. Алиев, А.Ш. Рамазанов // Юг России: экология, развитие. – 2016. – Т.11, №1. – С.149–158.
6. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы [Электронный ресурс] / В. Германович, А. Турилин. - СПб. : Наука и техника, 2014. Студенческая научная библиотека «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785943878527.html>
7. Алишаев, М.Г. Оценки показателей циркуляционной системы добычи геотермальной энергии в случае маломощного пласта / М.Г. Алишаев // Известия РАН. Энергетика. – 2019. – № 1. – С. 140 – 158. DOI: 10.1134/S0002331019010047
8. Бутузов, В.А. Геотермальные электростанции России / В.А. Бутузов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2020. – № 3. – С. 72-77.
9. Ваганова, Н.А. Оптимальное проектирование геотермальных циклических систем / Н.А. Ваганова, М.Ю. Филимонов // Всероссийская конференция Экология. Экономика. Информатика. Сборник статей. Т. 1. Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2014. – С. 387 – 392.
10. Черкасов, С.В. Ресурсы термальных подземных вод: геологические факторы оценки и освоения / С.В. Черкасов, А.М. Фархутдинов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2017. – № . – С. 21 – 26.