

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Минцаев Мухамед Ибрагимович

Должность: Ректор

Дата подписания: 07.06.2025 13:13:27

Уникальный программный ключ:

236bcc35c296f119d6aafdc22836b21db52dbc07971a86865a5825f9fa4304cc

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.Д. МИЛЛИОНЩИКОВА»**

Электротехника и электропривод

УТВЕРЖДЕН

на заседании кафедры

« 31 » 05 2025 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой

Р. А.-М. Магомадов



ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Направление

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки

" Геотермальная электростанция "

Квалификация (степень) выпускника

Магистр

Составитель



М.В. Дебиев

**ПАСПОРТ
ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**
Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы
(наименование дисциплины)

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1.	Введение. Современное состояние и перспективы геотермальной энергетики	ПК-2, ПК-3	Собеседование Практическая работа
2.	Геотермальная энергетика	ПК-2, ПК-3	Собеседование Практическая работа
3.	Виды геотермальных ресурсов	ПК-2, ПК-3	Собеседование Самостоятельная работа
4.	Использование геотермальной энергии для выработки электроэнергии	ПК-2, ПК-3	Собеседование Практическая работа
5.	Характеристика подземной гидросферы	ПК-2, ПК-3	Собеседование Самостоятельная работа
6.	Технологии добычи геотермальных ресурсов	ПК-2, ПК-3	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 Введение. Современное состояние и перспективы геотермальной энергетики

1. Понятие геотермальной энергии.
2. Геотермальные ресурсы России.
3. Современное состояние и перспективы геотермальной энергетики в мире.
4. Схемы энергоустановок, использующих тепловую энергию Земли.
5. Тепловые насосы.

Раздел Геотермальная энергетика

1. Тепло Земли
2. Методы и способы использования геотермального тепла для выработки электроэнергии.
3. Источники геотермального тепла.
4. Классификация геотермальных районов.
5. Типы и принцип работы геотермальных электростанций (ГеоЭС).
6. Классы геотермальных районов.
7. Схемы использования геотермальной энергии.
8. Выбор схем геотермальной электростанции.

Раздел Виды геотермальных ресурсов

1. Гидрогеотермальные и петрогеотермальные ресурсы.
2. Эксплуатационные запасы и прогнозные ресурсы.
3. Естественные и искусственные запасы.
4. Технологии извлечения гидрогеотермальных ресурсов.
5. Технологии добычи геотермальных ресурсов.
6. Использование геотермальных ресурсов для выработки тепловой и электрической энергии.
7. Тепловой режим земной коры.
8. Использование геотермального тепла в системах теплоснабжения и производства электроэнергии.
9. Геотермальная энергетика, использование энергии океанов и морей

Раздел Использование геотермальной энергии для выработки электроэнергии

1. Развитие геотермальной электроэнергетики.
2. Использование геотермальной энергии.
3. Геотермальные источники энергии.
4. Термоэлектрические генераторы.
5. Технологические схемы геотермальных электростанций (ГеоЭС).
6. Бинарные ГеоЭС.
7. Экологические показатели геотермальных ТЭС.

Раздел Характеристика подземной гидросферы

1. Происхождение подземных вод.
2. Условия залегания термальных подземных вод.
3. Теплоэнергетические воды.
4. Типы месторождений теплоэнергетических вод.
5. Исследование гидродинамического и теплового режимов в скважинах по совместно-раздельной добыче.

Раздел Технологии добычи геотермальных ресурсов

1. Направления развития технологии освоения геотермальных ресурсов.
2. Способы извлечения теплоносителя при разработке геотермальных месторождений.
3. Конструкция и характеристики геотермальной скважины.

4. Дебит и производительность скважины.
5. Использование горизонтальных скважин.
6. Геотермальные циркуляционные системы.
7. Извлечение петрогеотермальной энергии.

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. Системы геотермального отопления
3. Производство биомассы для энергетических целей
4. Термохимические процессы биоэнергетики

Практическая работа №1

«Использование геотермальной энергии для выработки тепловой и электрической энергии»

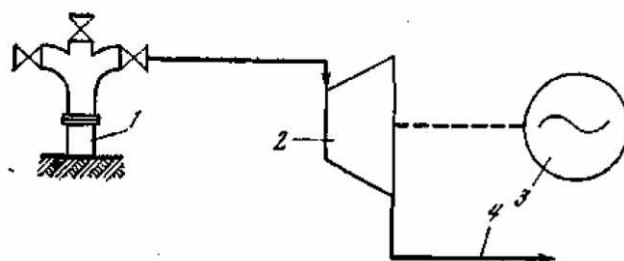
Цель работы: изучить работу геотермальных станций различного типа:

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.

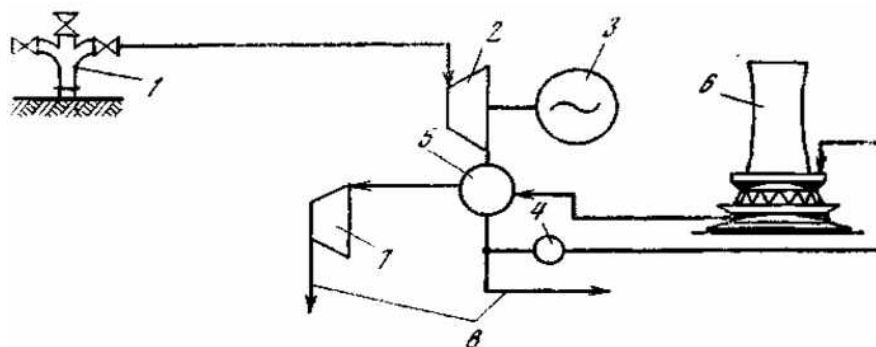
Геотермальная электростанция с непосредственным использованием природного пара. Самая простая и доступная геотермальная энергоустановка представляет собой паротурбинную установку с противодавлением. Природный пар из скважины подается прямо в турбину с последующим выходом в атмосферу или в устройство, 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.

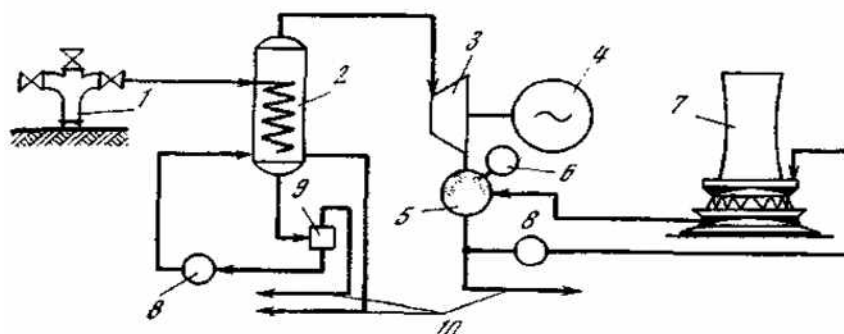


1 – скважина; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – насос; 5 – конденсатор; 6 – градирня; 7 – компрессор; 8 – сброс.

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.

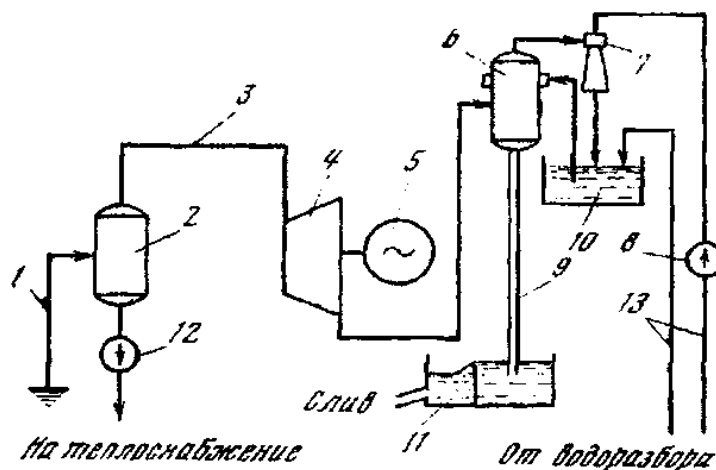
Геотермальные электростанции с конденсационной турбиной, работающие на отсепарированном паре, строятся там, где из скважины получают пар с большим содержанием воды. Пар или пароводяная смесь из скважины направляется в специальное устройство, расположенное на скважине. Под давлением в сепараторе происходит 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. Второй серьезный недостаток – 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, скормливаемого 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.

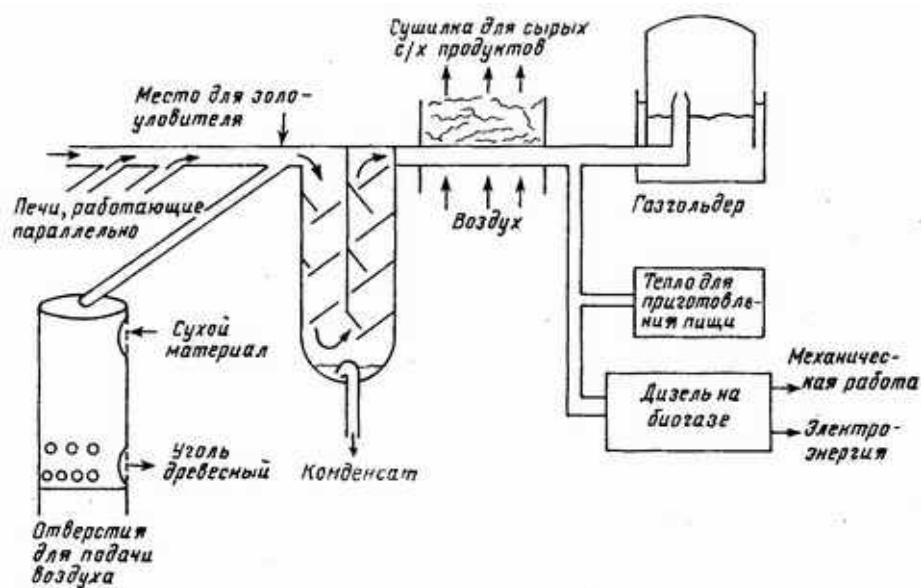


Рис. 1. Установка для осуществления пиролиза

Стадии перегонки:

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

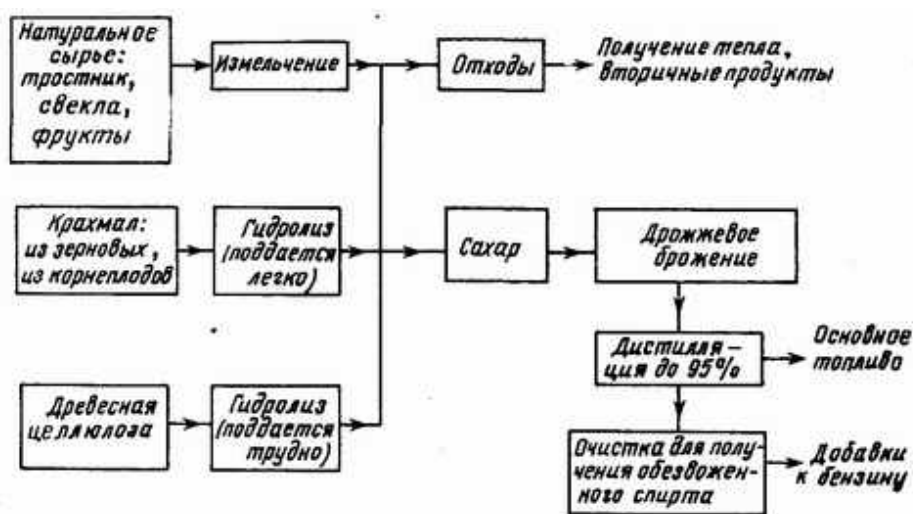
Биомасса может сжигаться или подвергаться пиролизу непосредственно после предварительной сортировки и измельчения. Однако, она может быть еще и обработана химически для того, чтобы получить исходный материал для спиртовой ферментации или вторичное топливо. Рассмотрим несколько наиболее важных примеров 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/м³) на 40% ниже чем бензина (39 МДж/м³).

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

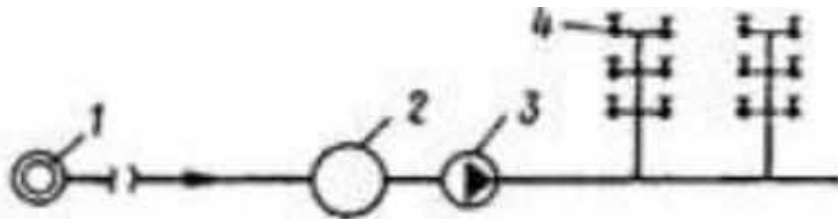
Практическая работа №4 «Системы геотермального отопления»

Цель работы: определить температуру водоносного пласта перед началом его эксплуатации и количество пригодной для эксплуатации геотермальной энергии водоносного пласта.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть практического занятия.
2. Нарисовать схему системы отопления, рассказать принцип работы.

Открытые системы теплоснабжения, обеспечивающие только горячее водоснабжение. В соответствии со схемой геотермальная вода по однострунной тепловой сети подается непосредственно на водоразбор. Суточная неравномерность потребления горячей воды компенсируется с помощью бака-аккумулятора.



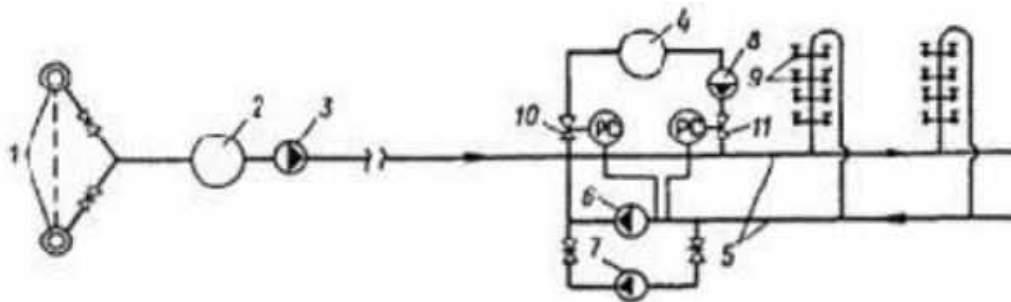
1 - геотермальная скважина; 2 - бак-аккумулятор; 3 – сетевой насос; 4 - водоразборный кран ГВ.

Рис. 4.1 Открытая однострунная геотермальная система горячего водоснабжения

Недостатком схемы (рис.4.1) является отсутствие циркуляции теплоносителя в распределительной сети ГВ, в результате чего неизбежно остывание теплоносителя в период отсутствия водоразбора горячей воды (например, ночью). По причине этого недостатка схема может быть рекомендована к применению только при малых расстояниях между термоводозабором и потребителем геотермальной теплоты

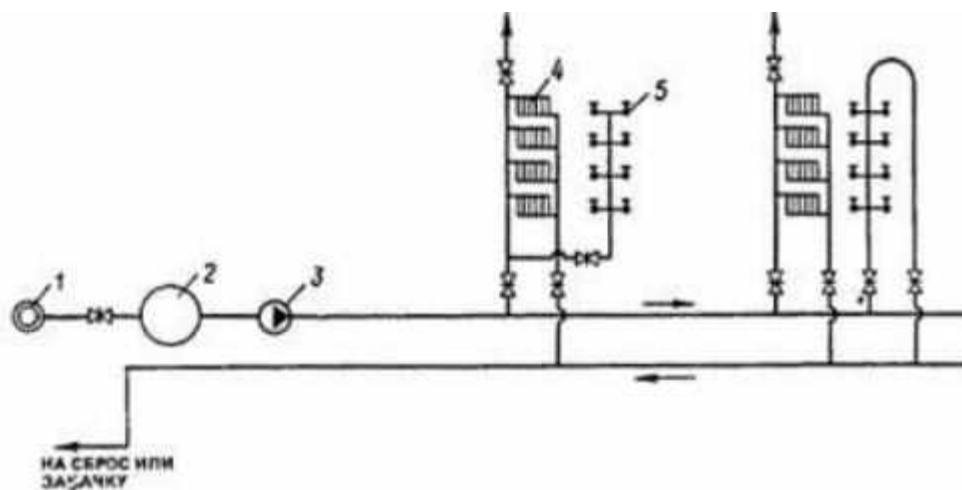
Схема 2 (рис. 4.2) отличается от схемы на рисунке 4.1 наличием двухтрубной распределительной сети, в которой циркулирует геотермальная вода. Подпитка по мере водопотребления осуществляется из однострунной транзитной тепловой сети. Суточная неравномерность водопотребления уравнивается баком-аккумулятором. Схема может быть рекомендована при сравнительно большом удалении термоводозабора от потребителя геотермальной теплоты.

Открытые геотермальные системы теплоснабжения с зависимым присоединением отопления в зависимости от расположения места сброса схема имеет две модификации (рис. 4.3). Геотермальная вода параллельно подается на отопление и горячее водоснабжение. После отопительных систем вода сбрасывается вблизи термоводозабора. Транзитная тепловая сеть имеет двухтрубную прокладку.



1 - геотермальные скважины термоводозабора; 2 - сборный бак-аккумулятор геотермальной воды; 3 - сетевой насос; 4 - бак-аккумулятор распределительной сети; 5 – двухтрубная распределительная сеть, 6, 7, 8 - сетевой циркуляционный и подпиточный насосы распределительной сети; 9 – водоразборный кран; 10 - регулятор слива, 11 - регулятор подпитки.

Рис. 4.2. Открытая однотрубная геотермальная система горячего водоснабжения с двухтрубной распределительной сетью



1 - геотермальная скважина; 2 - бак аккумулятора; 3 – сетевой насос; 4 - отопительные приборы; 5 - водоразборный кран.

Рис. 4.3. Открытая двухтрубная геотермальная система теплоснабжения

Применение тепловых насосов

В районах с ограниченными ресурсами геотермальных вод, высокой стоимостью их добычи и транспорта рекомендуется система геотермального теплоснабжения с применением компрессионных тепловых насосов. В летний период эта схема может эксплуатироваться в режиме хладоснабжения.

В тепловых насосах в качестве источников теплоты могут использоваться низкотемпературные геотермальные воды ($t_{нгв} > 15^{\circ}\text{C}$). Оптимальную в тепловом балансе системы долю расчетной производительности термотрансформаторов при выработке теплоты следует принимать в пределах $0,1 \div 0,15$. Нагрев обратной воды предусматривается до 60°C , отопительный коэффициент при двухступенчатом нагреве принимается $\mu = 4$.

Соотношение расходов нагреваемой в конденсаторах воды $G_{\text{конд}}$ и сбрасываемой через испарители $G_{\text{исп}}$ определяется по формуле:

$$m = G_{\text{конд}} / G_{\text{исп}} = \mu (t'_{\text{о}} - t'_{\text{исп}}) / [(\mu - 1)(t'_{\text{конд}} - t'_{\text{о}})],$$

где $t'_{\text{конд}}$ и $t'_{\text{исп}}$ - расчетные температуры воды на выходе из конденсаторов и испарителей, °C;

$t'_{\text{исп}}$ - принимается в пределах $5 \div 10^\circ\text{C}$;

$t'_{\text{о}}$ - расчетная температура обратной воды систем отопления, °C; $m = 0,4 \div 0,6$.

Компрессионные тепловые насосы следует размещать на обратной линии геотермальных систем отопления. Эффективность работы тепловых насосов возрастает при использовании низкотемпературных отопительных систем, а также за счет последовательно-противоточного включения нескольких агрегатов.

Установленную мощность тепловых насосов $N_{\text{т.н}}$, кВт, и годовой расход электроэнергии $P_{\text{т.н год}}$, кВт·ч/год, определяют по формулам:

$$N_{\text{т.н}} = 1163 \gamma Q'_{\text{отп}} \Sigma(1/\mu_i) / k;$$

$$P_{\text{т.н год}} = 1163 \gamma Q'_{\text{отп}} t_{\text{о.п}} \phi_{\text{ср}} \Sigma(1/\mu_i) / k,$$

где γ - доля расчетной теплопроизводительности теплового насоса;

$Q'_{\text{отп}}$ – отопительная нагрузка, Гкал/ч k - число ступеней нагрева;

μ_i - действительный отопительный коэффициент в расчетном режиме; $t_{\text{о.п}}$ - продолжительность отопительного сезона, ч;

$\phi_{\text{ср}}$ - среднегодовой коэффициент отпуска теплоты:

$$\phi_{\text{ср}} = 0,64 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{о.п}};$$

1163-коэффициент, вводимый при подстановке $Q'_{\text{отп}}$, Гкал/ч; при подстановке $Q'_{\text{отп}}$, кВт, этот коэффициент равен 1.

Исходные данные:

Скорость изменения температуры грунта по глубине $dT/dz = 60^\circ\text{C}/\text{км}$;

Толщина (высота) водоносного пласта $h = 0,6 \text{ км}$;

Глубина залегания водоносного пласта $z = 3 \text{ км}$;

Плотность грунта в водоносном пласте $\rho_{\text{гр}} = 2700 \text{ кг}/\text{м}^3$;

Водонасыщенность водоносного пласта $\alpha = 5\%$;

Теплоёмкость грунта $C_{\text{гр}} = 0,84 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$;

Температура грунта на поверхности Земли $t_{\text{пз}} = 10^\circ\text{C}$;

Теплоёмкость воды $C_{\text{в}} = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$;

Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$;

Площадь водоносного пласта $F = 1 \text{ км}^2$;

Температура воды в пласте в конце его эксплуатации $t_1 = 40^\circ\text{C}$.

Решение.

Задача посвящена использованию геотермальной энергии, сосредоточенной в естественных водоносных горизонтах. Температура водоносного пласта перед началом его эксплуатации определяется по формуле:

$$t_{\text{пл}} = t_{\text{пз}} + (dT/dz) \cdot z = 10^\circ\text{C} + 60^\circ\text{C}/\text{км} \cdot 3 \text{ км} = 70^\circ\text{C}.$$

Теплоёмкость водоносного пласта определяется из выражения:

$$\begin{aligned} C_{\text{пл}} &= [\alpha \cdot 10^{-2} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} + (1 - \alpha \cdot 10^{-2}) \cdot \rho_{\text{гр}} \cdot C_{\text{гр}}] \cdot h \cdot F = \\ &= [5 \cdot 10^{-2} \cdot 1000 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K}) + \\ &+ (1 - 5 \cdot 10^{-2}) \cdot 2700 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 0,84 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})] \cdot 600 \text{ м} \cdot 10^6 \text{ м}^2 = \\ &= 1,42 \cdot 10^{12} \text{ кДж}/\text{K} = 1,42 \cdot 10^9 \text{ МДж}/\text{K}. \end{aligned}$$

Количество пригодной для эксплуатации геотермальной энергии водоносного пласта определяется по формуле: $E_0 = C_{\text{пл}} \cdot (t_{\text{пл}} - t_1) = 1,42 \cdot 10^9 \text{ МДж}/\text{K} \cdot (70 - 40) \text{ K} = 4,26 \cdot 10^{10} \text{ МДж}$.

Ответ. Температура водоносного пласта равна 70°C , количество пригодной для эксплуатации геотермальной энергии - $4,26 \cdot 10^{10} \text{ МДж}$.

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)

1 семестр

Вопросы к зачету по дисциплине

1. Понятие геотермальной энергии.
2. Современное состояние и перспективы геотермальной энергетики в мире.
3. Геотермальные ресурсы России.
4. Виды геотермальных ресурсов.
5. Методы и способы использования геотермального тепла для выработки электроэнергии.
6. Методы, используемые при оценке запасов месторождений теплоэнергетических вод.
7. Классификация геотермальных районов.
8. Категории эксплуатационных запасов термальных вод.
9. Выбор схем геотермальной электростанции.
10. Типы вод по условиям их образования.
11. Термальные воды по условиям их залегания.
12. Гидродинамические зоны пластовых вод.
13. Классификация теплоэнергетических вод.
14. Использование геотермального тепла в системах теплоснабжения и производства электроэнергии
15. Мероприятия, снижающие солеотложение и коррозию в системах геотермального теплоснабжения.
16. Преимущества горизонтальных скважин.
17. Преимущества и недостатки геотермальных циркуляционных систем.
18. Технологию извлечения петрогеотермальной энергии.
19. Перечислите области использования геотермального тепла.
20. Типы месторождений теплоэнергетических вод.
21. Конструкция и характеристики геотермальной скважины.

22. Источники геотермального тепла. Подземные термальные воды.
23. Преимущества комплексных геотермальных систем теплоснабжения.
24. Опыт использования геотермальных ресурсов для выработки электроэнергии.
25. Геотермальная энергетика, использование энергии океанов и морей
26. Преимущества и недостатки бинарной ГеоЭС.
27. Описание схемы ГеоЭС с двойным циклом.
28. Принципиальная тепловая схема теплового насоса и основной принцип его работы.
29. Схемы использования геотермальной энергии.
30. Коэффициент преобразования теплового насоса.
31. Преимущества теплонасосных систем теплоснабжения с низкопотенциальными термальными водами в качестве первичного источника тепла.
32. Система теплонасосного теплоснабжения с грунтовыми теплообменниками в вертикальных скважинах.
33. Эколого-экономические преимущества теплонасосных систем теплоснабжения
34. Описание физических свойств воды.
35. Технологии добычи геотермальных ресурсов.
36. Классификация подземных вод по степени их минерализации.
37. Классы геотермальных районов.
38. Факторы, влияющие на формирование химического состава подземных вод.
39. Типы термальных вод по газовому составу.
40. Тепловые насосы.
41. Геотермальные циркуляционные системы.
42. Технология комплексной утилизации геотермальной энергии и растворенного газа.

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

БИЛЕТ № 1

Дисциплина Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 1

1. Понятие геотермальной энергии.
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 Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 1

1. Современное состояние и перспективы геотермальной энергетики в мире.
2. Геотермальные циркуляционные системы.

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

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

БИЛЕТ № 3

Дисциплина Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 1

1. Геотермальные ресурсы России.
2. Тепловые насосы.

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

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

БИЛЕТ № 4

Дисциплина Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 1

1. Методы и способы использования геотермального тепла для выработки электроэнергии.
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 Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 1

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 Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 1

1. Методы, используемые при оценке запасов месторождений теплоэнергетических вод.
2. Классы геотермальных районов

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

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

БИЛЕТ № 7

Дисциплина Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 1

1. Классификация геотермальных районов.
2. Классификация подземных вод по степени их минерализации

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

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

БИЛЕТ № 8

Дисциплина Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 1

1. Методы, используемые при оценке запасов месторождений теплоэнергетических вод
2. Технологии добычи геотермальных ресурсов.

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

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

БИЛЕТ № 9

Дисциплина Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 1

1. Классификация геотермальных районов.
2. Описание физических свойств воды.

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

БИЛЕТ № 10

Дисциплина Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 1

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

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

БИЛЕТ № 11

Дисциплина Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 1

1. Выбор схем геотермальной электростанции.
2. Описание схемы ГеоЭС с двойным циклом

Зав.кафедрой «ЭЭП»

Р.А-М. Магомадов

БИЛЕТ № 12

Дисциплина Геотермальная энергетика: современное состояние и перспективы

Институт энергетики профиль подготовки ГЭ семестр 1

1. Технология извлечения петрогеотермальной энергии.
2. Геотермальная энергетика, использование энергии океанов и морей

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. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учеб. пособие / [В.В. Денисов [и др.] ; под ред. В. В. Денисова. - Ростов н/Д : Феникс, 2015. - 318 с.
10. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учеб. пособие / [В.В. Денисов [и др.] ; под ред. В. В. Денисова. - Ростов н/Д : Феникс, 2015. - 318 с.

