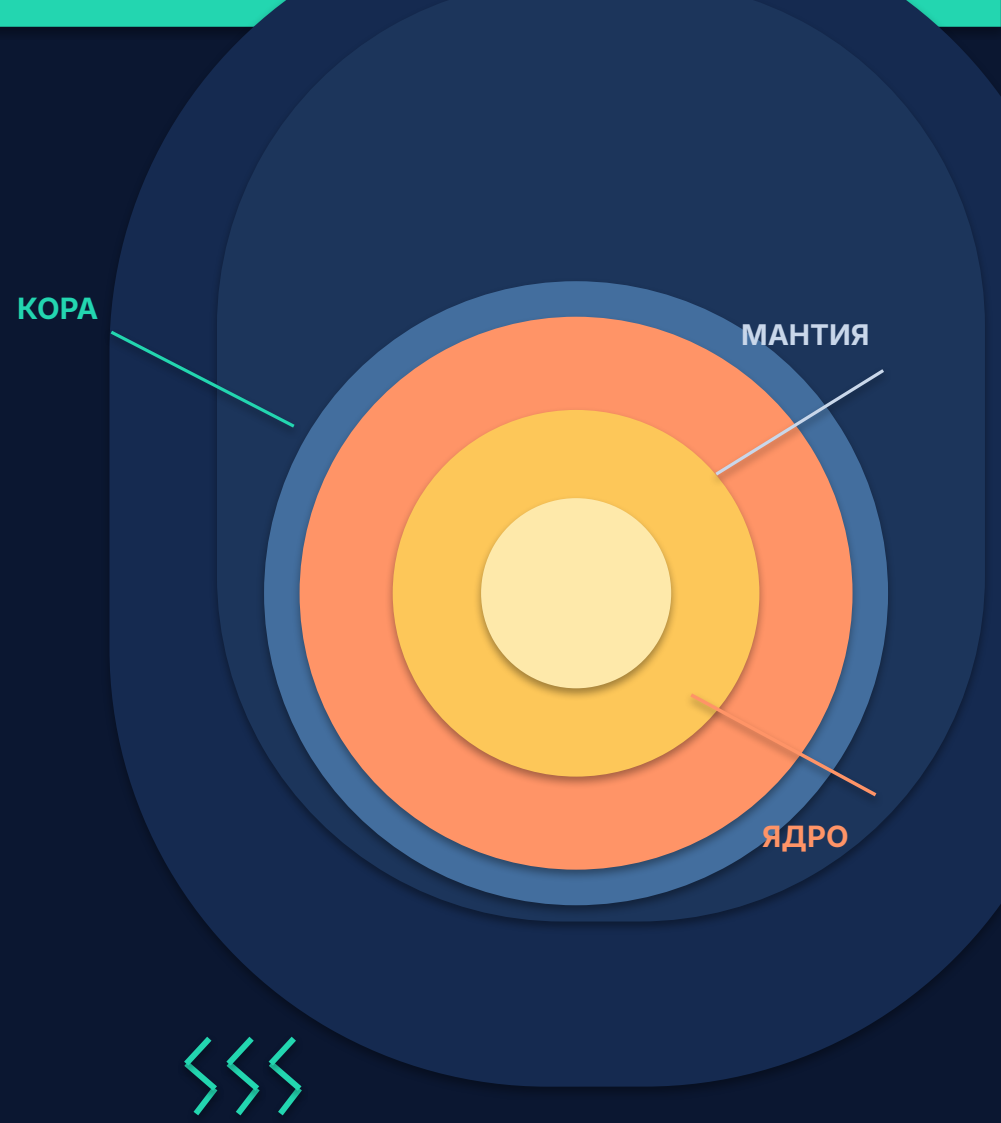
КУРС • 10 ЛЕКЦИЙ

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА



ЛЕКЦИЯ 08

Использование геотермальной энергии

Тепло Земли • гидро-, паро- и петротермальные ресурсы • ГеоТЭС • экология

РАЗДЕЛ 8.1

Откуда берётся геотермальная энергия?

Тепло внутренних слоёв Земли поступает к поверхности, но распределяется крайне неравномерно.

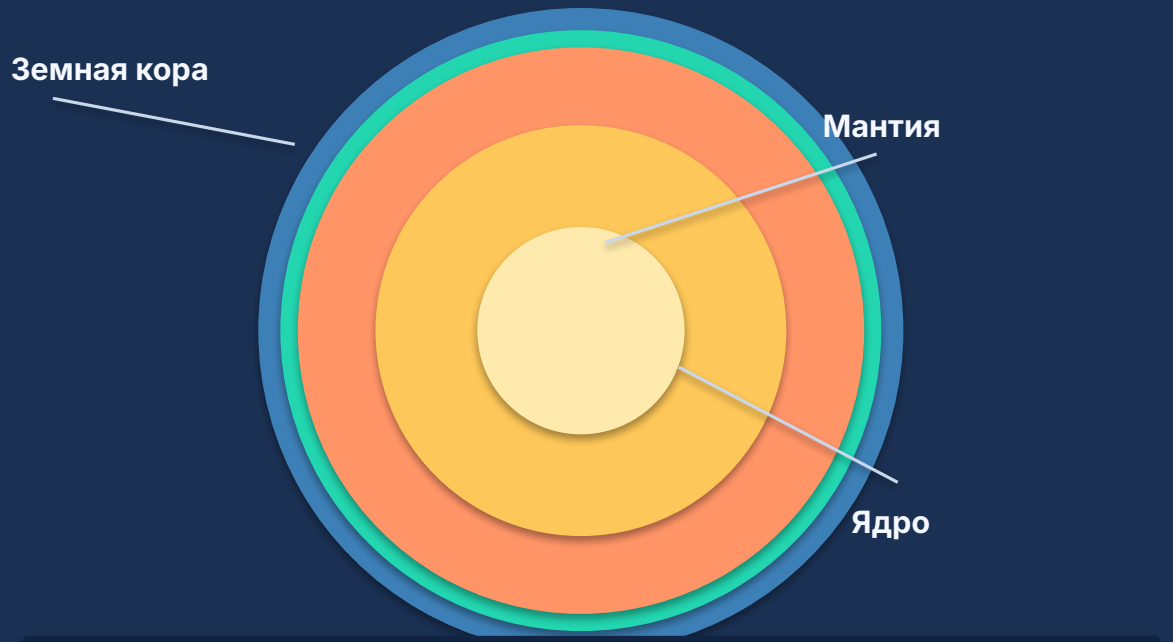


Схема условная, масштабы слоёв не соблюдены

≈ 2900 км

ТОЛЩИНА МАНТИИ

Порядок величины из текста лекции

≈ 0,05 Вт/м²

СРЕДНИЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК

У поверхности Земли

100–300 °C

ДОСТУПНЫЕ АНОМАЛИИ

В отдельных областях на глубине 5–10 км

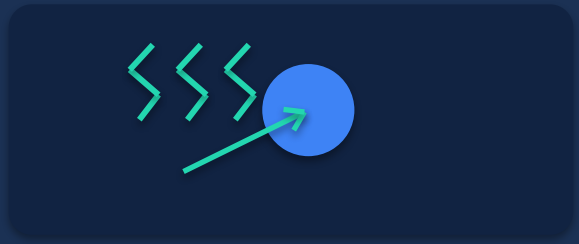
Основа: раздел 8.1 исходной лекции. Приведённые величины отражают оценки материала и не являются универсальным профилем земной коры.

РАЗДЕЛ 8.1

Три типа геотермальных источников

Различаются фазовым состоянием теплоносителя и доступностью тепловой энергии для извлечения.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ

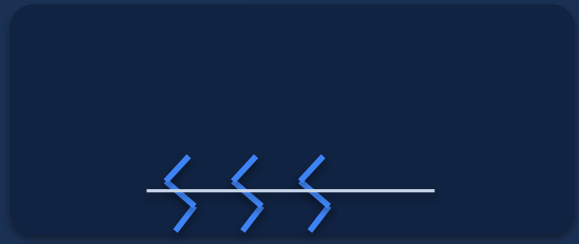


Горячая вода

Вода циркулирует по природным проницаемым пластам

Отопление, ГВС, теплообмен

ПАРОТЕРМАЛЬНЫЕ

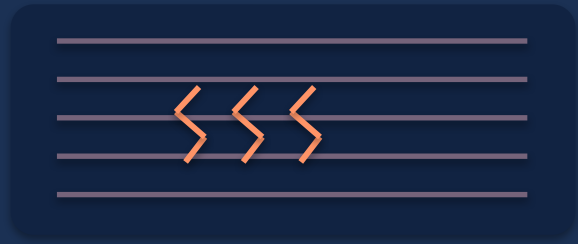


Пар под давлением

Пар выходит из глубинных участков гидротермальной системы

Теплоснабжение и генерация

ПЕТРОТЕРМАЛЬНЫЕ



Нагретые породы

Тепло сосредоточено в твёрдом массиве; нужен теплоноситель

Скважины + циркуляция

Раздел 8.1 исходной лекции. Развитие технологий может расширять область практически доступных петротермальных ресурсов.

Геотермальное теплоснабжение: простая схема

Теплоноситель извлекается из скважины, отдаёт тепло потребителю и по возможности возвращается в пласт.



ПРЕИМУЩЕСТВО

Без промежуточного превращения тепла в электричество

ВАЖНО ДЛЯ ПРОЕКТА

Состав воды, коррозия, насосы и условия реинжекции

Схема составлена по описанию геотермального теплоснабжения в разделе 8.2 исходной лекции.

Как получить тепло нагретых пород?

Концепция двух скважин: закачка холодного теплоносителя, нагрев в массиве и отбор горячей воды.



КРИТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

Связность скважин

Вода должна проходить между ними

Теплообмен

Достаточная площадь контакта с породой

Ресурс системы

Охлаждение пласта с течением времени

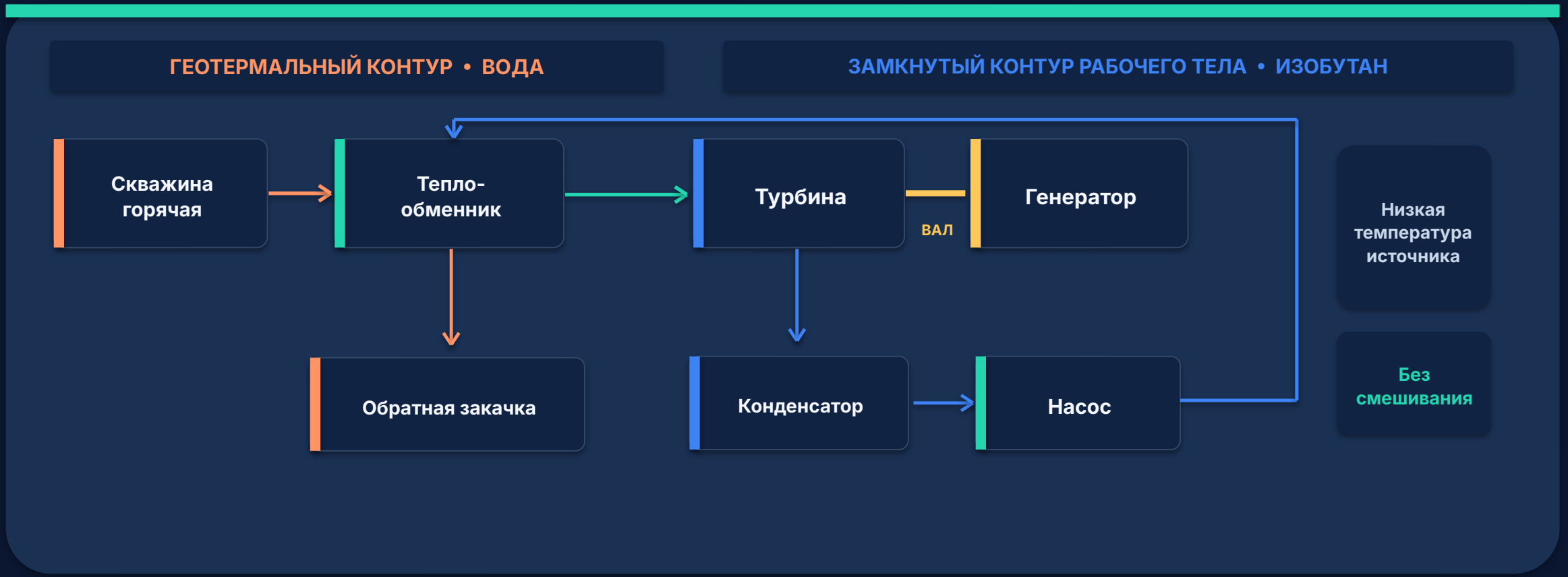
Стоимость

Бурение и поддержание циркуляции

Перерисована схема из рис. 8.2 источника; это концепция, а не проект конкретного месторождения.

Бинарная ГеоТЭС: два независимых контура

Низкотемпературный геотермальный теплоноситель нагревает рабочее тело с более низкой температурой кипения.



Принцип воспроизводит описание изобутанового цикла и рис. 8.3 исходной лекции; связи упрощены.

Геотермальная энергетика: примеры объектов

Исторические примеры из таблицы 8.1 исходной лекции — не текущий рейтинг стран и станций.

ОБЪЕКТЫ, ПРИВЕДЁННЫЕ В ЛЕКЦИИ

Исландия	Неймефьялл
Италия	Лардерелло
Новая Зеландия	Уайракей
Россия	Паужетская долина

ПОЧЕМУ НЕ ВЕЗДЕ?

Геология

Нужны доступный горячий пласт и устойчивый дебит.

Инфраструктура

Бурение, насосы и линии передачи увеличивают затраты.

Температура

От неё зависит выбор теплоснабжения или цикла ГеоТЭС.

Таблица 8.1 в исходном Word-файле не датирована; её численные мощности сознательно не представлены как современные.

РАСЧЁТ

Сколько тепла можно извлечь из потока воды?

Расчётный учебный пример: теплообмен в геотермальной установке и условная электрическая отдача.

ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2)$$

Расход воды $\dot{m}$	**30 кг/с**
Теплоёмкость c_p	**4,18 кДж/(кг·К)**
Охлаждение ΔT	**50 °C**

$\dot{Q} = 30 \times 4{,}18 \times 50 \approx 6{,}27$ МВт тепла

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

$$Р_{эл} = \eta \cdot \dot{Q}$$

Если принять условный КПД преобразования $\eta = 10\ \%$, то:

$Р_{эл} \approx 0{,}63$ МВт

Без учёта собственных нужд насосов и других потерь

Величины расхода, ΔT и КПД выбраны только для учебного расчёта; пример не является характеристикой реальной ГеоТЭС.

РАЗДЕЛ 8.3

Какие экологические риски есть у ГеоТЭС?

Возобновляемый источник энергии также требует контроля выбросов, воды, шума и состояния геосреды.

1 H_2S и состав флюида

Токсичные газы и растворённые соли

Мера: Газоочистка, контроль герметичности

2 Шум

Скважинная арматура и оборудование

Мера: Глушители, кожухи, санитарные зоны

3 Просадка грунта

Отбор пластового флюида и изменение давления

Мера: Обратная закачка, геодезический контроль

4 Сейсмический риск

Изменение давления и напряжений в породах

Мера: Мониторинг, управление закачкой

Раздел 8.3 лекции: выбросы сероводорода, шум, деформация грунта и потенциальные геомеханические эффекты.

Что необходимо запомнить?

Геотермальная энергетика полезна для отопления и выработки электроэнергии, когда геологические условия позволяют.

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Источник	Внутреннее тепло Земли; поток у поверхности невелик
Ресурсы	Гидротермальные, паротермальные, петротермальные
Теплоснабжение	Наиболее прямой путь использования горячего флюида
ГеоТЭС	Бинарный цикл позволяет работать с менее горячей водой
Экология	Необходимы реинжекция, мониторинг и очистка

ВОПРОСЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

1. Чем отличаются три вида геотермальных источников?
2. Почему средний тепловой поток у поверхности мал?
3. Как работает система из двух глубоких скважин?
4. Зачем в бинарной ГеоТЭС используют изобутан?
5. Как предотвратить просадку грунта и загрязнение?

Основа презентации: Лекция 8 «Использование геотермальной энергии», разделы 8.1–8.3.