

**ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет-УПИ»
Кафедра «Атомная энергетика»**

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ТЭС

ВОПРОСЫ

1. Показатели геотермального теплоснабжения.
2. Геотермальные электростанции.

1. ПОКАЗАТЕЛИ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

ПРИЧИНЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

- ограниченность запасов нефти и природного газа при экономической необходимости продолжения экспорта этих энергоресурсов;
- уменьшение ресурсов угля при ухудшении его качества и повышении затрат на добычу;
- неопределенность перспектив развития ядерной энергетики;
- сокращение вывоза энергетических ресурсов;
- ужесточение экологических требований.

ПРЕИМУЩЕСТВА ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

- повсеместность распространения;
- неисчерпаемость;
- близость к потребителю;
- автономность геотермальных систем;
- региональная принадлежность;
- экономическая эффективность применения маломощных систем геотермального теплоснабжения;
- безопасность эксплуатации и максимальная автоматизированность геотермальных энергоустановок;
- экологическая чистота получения геотермальных энергоносителей;

АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ГЕОТЕРМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СГТ

СРЕДНЕКЕМБРИЙСКИЙ ГОРИЗОНТ:

СГТ - система геотермального теплоснабжения ;

- температура пласта - от 27 до 69 гр.С (среднее значение 47 гр. С);

Пласт - форма залегания *горных* пород, ограниченная двумя боковыми и нижней параллельными плоскостями и имеющая значительную протяженность в длину.

- **мощность пласта-коллектора - от 25 до 68 м (средняя 40 м)**
 - проницаемость - от 0,08 до 3,0 мкм² (средняя 0,93).

Проницаемость - способность горных пород пропускать через себя жидкости и газы.

СОСТАВ СГТ

- Добывающий (подземный) комплекс - геотермальная технологическая система ГТС (подземные и нагнетательные скважины) ;
- Расположенные на поверхности сооружения, предназначенные для догрева или термотрансформации теплоносителя (теплотрассы-нагнетательные насосы, теплообменники, фильтры, системы водоподготовки и подпитки).

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СГТ

- вложения капитала в строительство СГТ тепловой мощностью 7 МВт : 0,9 - 10 млн.\$ (по курсу 1994);
- при годовой экономии топлива - порядка 3,8 - 4 тыс. т у.т./год количество топлива, необходимое для производства электроэнергии, расходуемой СГТ на собственные нужды : 1,7 - 4,1 тыс. т у.т./год;
- удельный расход электроэнергии на собственные нужды СГТ : $E_{сгт} = 82 - 137 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{ГДж}$;
- удельный расход электроэнергии на собственные нужды ГЦС : от 10 до 45 кВт*ч/ГДж (в 4,5 раза).

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ

Среднедевонский горизонт :

- Костромская обл.
- Ярославская обл.
- Ивановская обл.

Среднекембрийский :

- Ярославская обл.
- Тверская обл.
- Ивановская обл.

- энергетический кризис и критическая экологическая ситуация настоятельно диктует необходимость освоения геотермальных ресурсов в центральных областях России;
- геотермальные месторождения могут успешно разрабатываться при условии применения термотрансформаторов;
- геотермальные ресурсы этого региона (в топливном эквиваленте) оцениваются примерно в 44 млрд. т у.т. при удельной плотности их размещения от 25 до 200тыс.т/кв.км;
- по технико-экономическим показателям СГТ сопоставимы с альтернативными котельными на природном газе.

2. ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ОДНОКОНТУРНАЯ ГеоТЭС

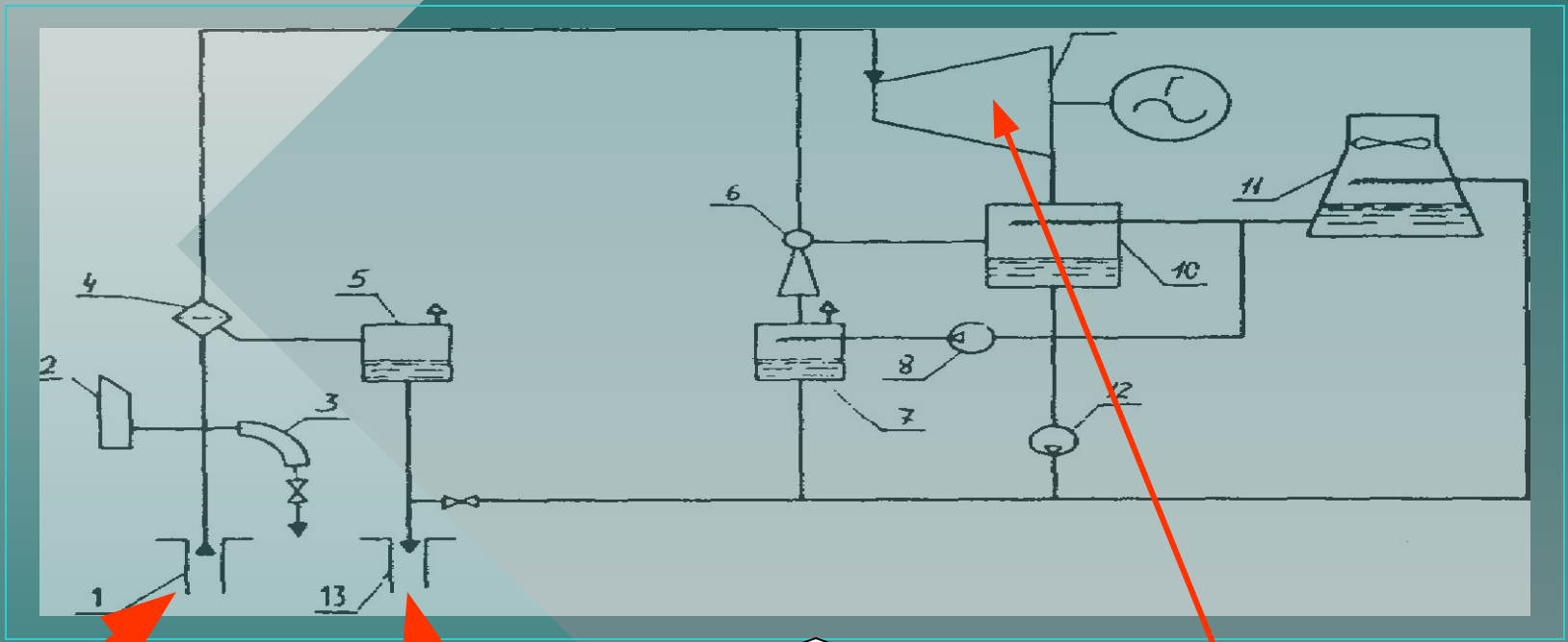
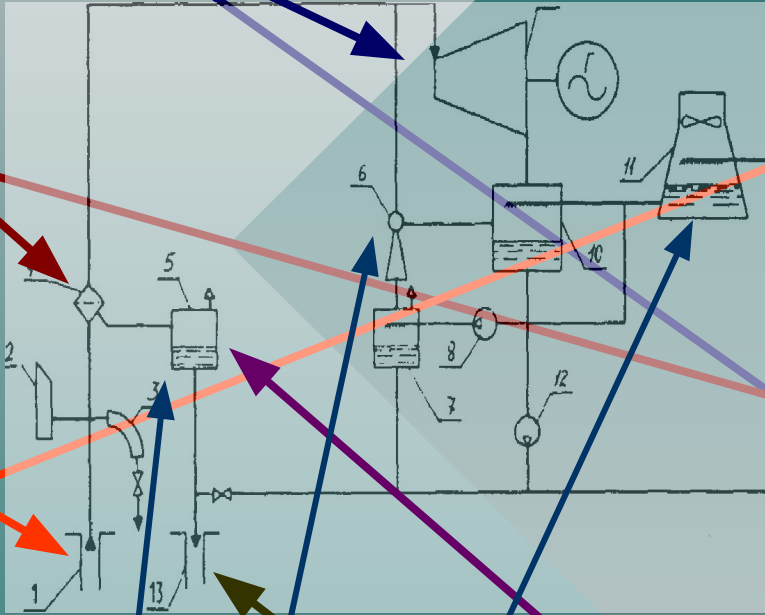


Рис.1

1-добычная скважина; 2-шумоглушитель; 3-грязеотделитель; 4 -
сепаратор; 5 - расширитель; 6 - эжектор; 7 - конденсатор эжектора
смешивающего типа; 8, 12-циркуляционные насосы; 9-

ПРИНЦИП РАБОТЫ



- поступающий из скважин теплоноситель (пар в смеси с горячей водой), содержащий сероводород, направляется в сепаратор. После сепаратора пар поступает в турбину, а отсепарированная вода - в атмосферный расширитель и далее в скважину захоронения.

ВАЖНО
1

Загрязнение атмосферы H_2S происходит через :

- расширитель;
- эжектор;
- градирни.

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТАЯ ГеоТЭС

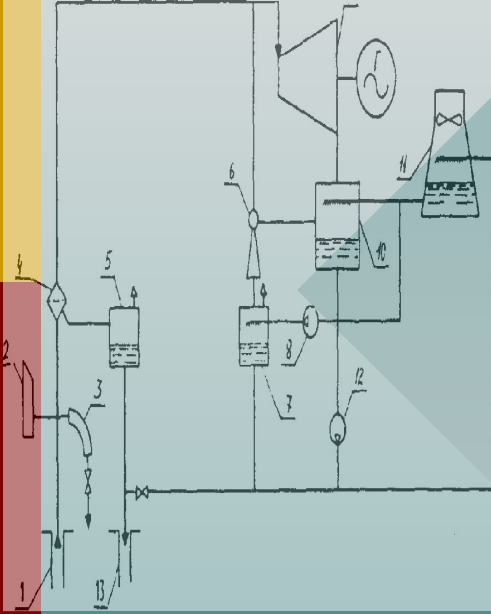


Рис.1

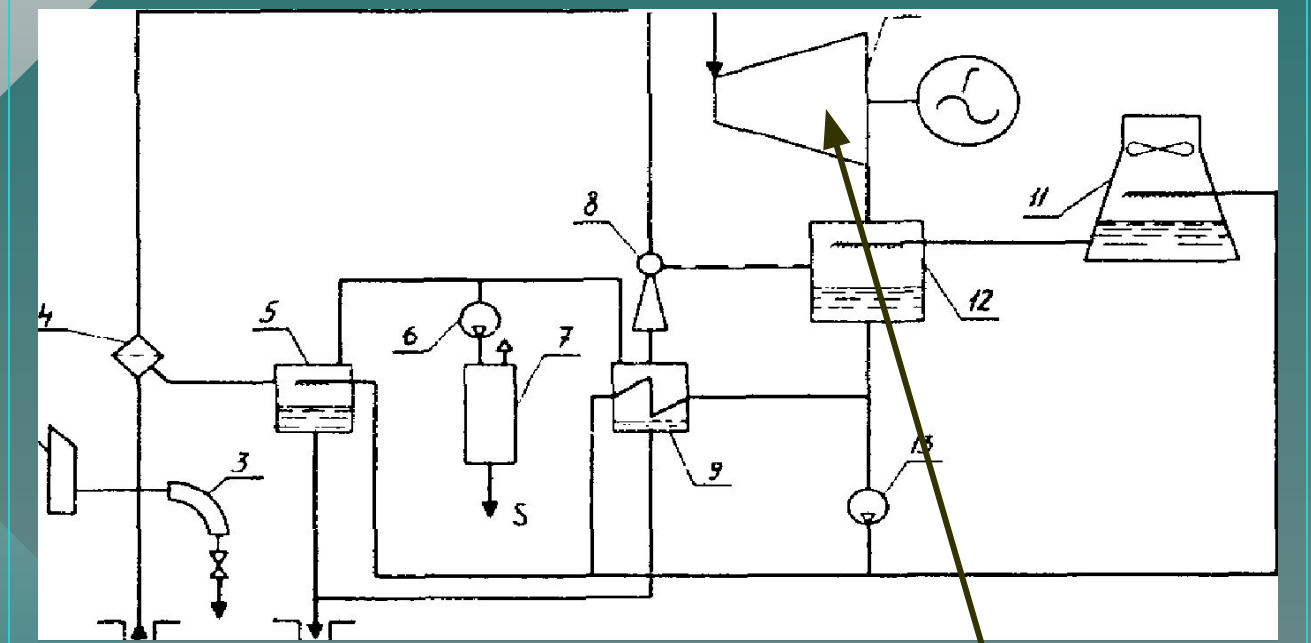
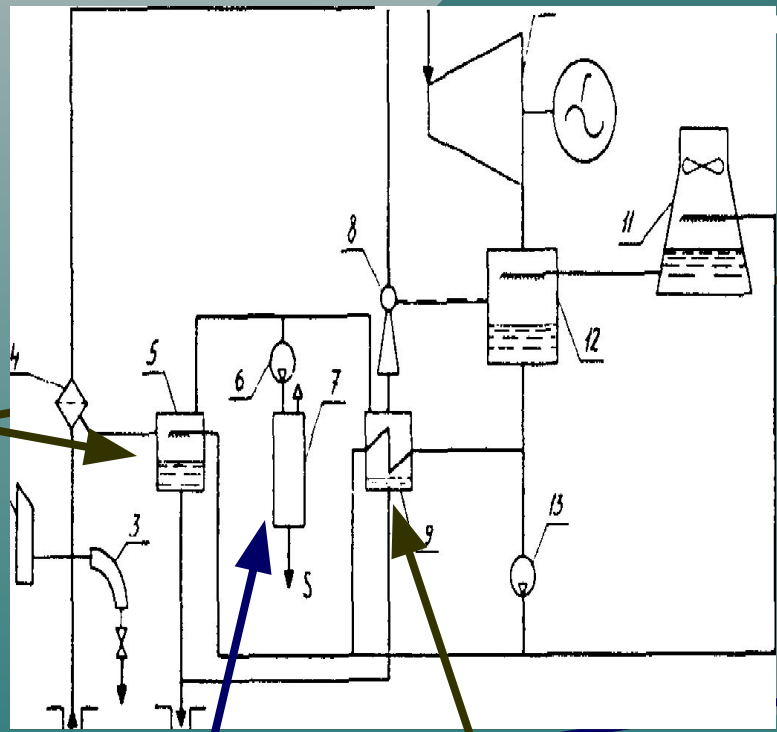


Рис.

2

1-5-то же, что на рис.1; 6,13-циркуляционные насосы;
7 - установка катализа очистки газа; 8-эжектор;
9-конденсатор эжектора поверхностного типа; 10-турбо-

ПРИНЦИП РАБОТЫ



На линии отсепарированной воды расположен герметичный расширитель, давление в нем ниже атм. В расширитель подается охлажденная вода. Газы из расширителя, так же и H_2S , направляются в установку каталитического окисления H_2S . Конденсатор эжектора принят поверхностного типа, в результате чего исключается растворение H_2S в охлаждающей воде.

ДВУХКОНТУРНАЯ ГеоТЭС

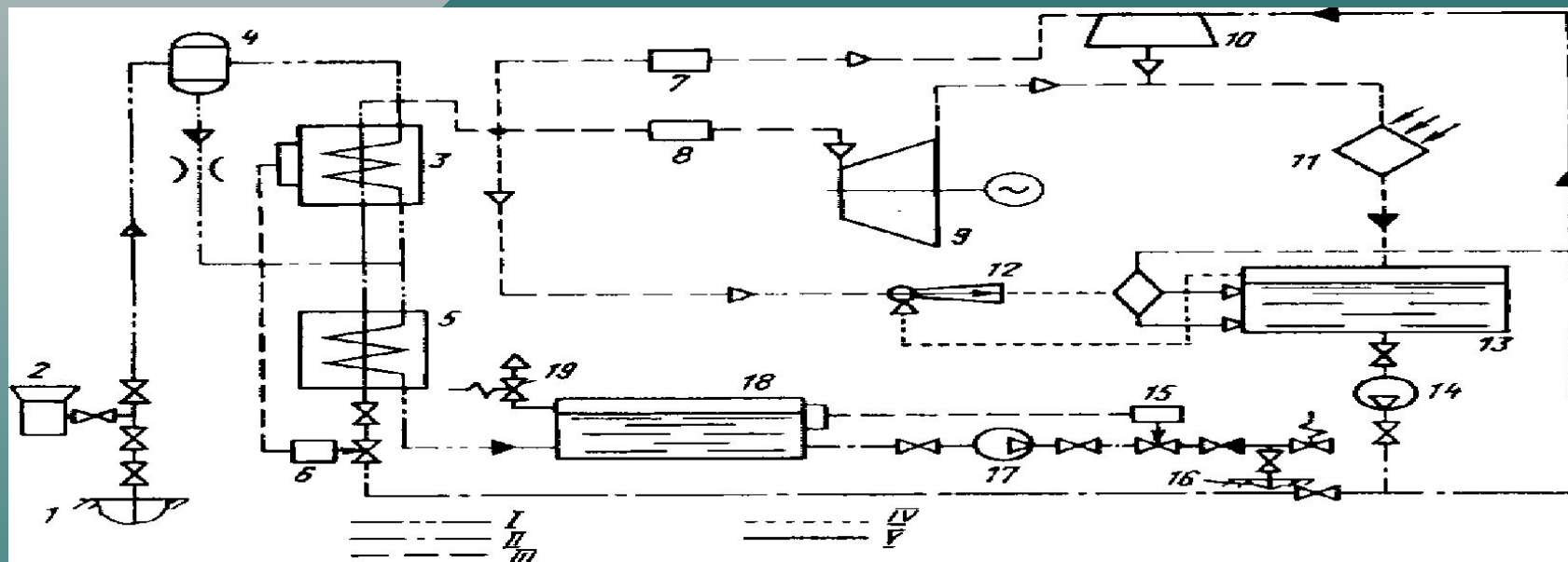


Рис.

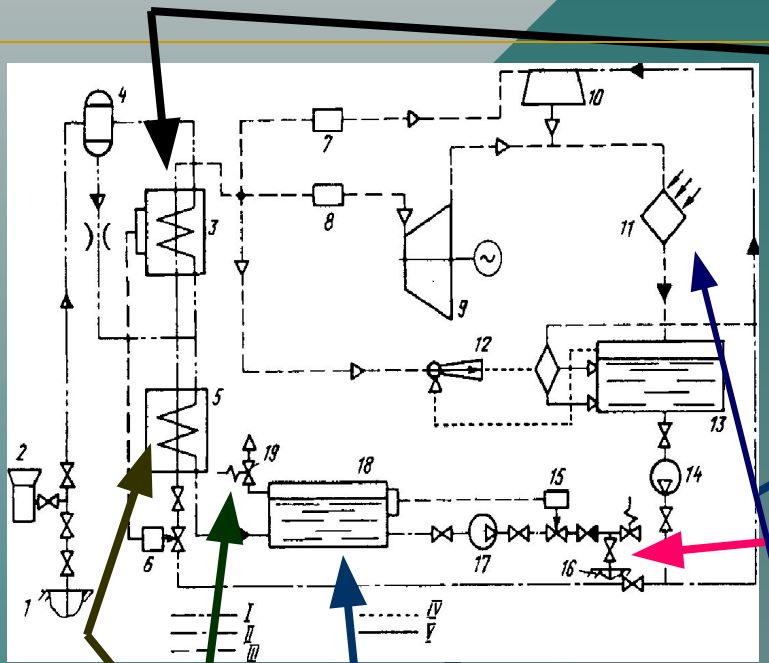
4

1-добычная скважина; 2-шумоглушитель; 3-ПГ; 4-центробежный сепаратор; 5-экономайзер; 6-регулятор уровня ПГ; 7,8-регулирующие клапаны; 9-турбогенератор; 10 - дроссельно-увлажнительное устройство; 11-воздушный конденсатор; 12-пароструйный эжектор; 13-регулятор уровня в конденсатосборнике; 14-питатель-

КОНЦЕПЦИЯ ДВУХКОНТУРНОЙ ГеоТЭС ПРЕДПОЛАГАЕТ

- защиту воздушной среды от H_2S ;
- защиту энергетического оборудования от коррозионно-эрозионного износа;
- защиту от солеотложений;

ПРИНЦИП РАБОТЫ



Поступивший в ПГ пар конденсируется, несконденсировавшиеся газы через конденсатосборник направляются в скважину захоронения, а нерастворившиеся в атмосферу. В ПГ вырабатывается пар 2-го (чистого) контура, который, отработав в турбине, конденсируется и охлаждается в воздушном конденсаторе.

Конденсат 2-го контура поступает в экономайзер, подогревается до необходимой t_t и возвращается в ПГ.

НЕДОСТАТКИ

- значительное усложнение тепловой схемы;
- наличие дополнительных элементов (ПГ и экономайзера);
- необходимость в узле приготовления воды для подпитки 2-го контура;
- неизбежность применения сухих систем охлаждения (воздушных конденсаторов или воздушных градирен).

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГеоТЭС

Показатели	Геотермальная электростанция	
	одноконтурная	двухконтурная
Мощность ГеоТЭС, МВт	30	30
Расход э/э на собственные нужды, %	8,3	13
Выдача э/э с шин, ГВт*ч	93,53	88,7
Удельный расход геотермального пара, кг/(кВт*ч)	8,92	9,91
Стоимость пара, руб./т**	6,28	7
Общая расчетная стоимость строительства, млн. руб.**	250,37	280,69
Срок окупаемости капиталовложений, лет	6,7	10

**В ценах 1994 г.

ВЫВОД

- Выбор одно- или двухконтурных геотермальных энергоустановок будет определяться конкретными условиями эксплуатации :
 - параметрами геотермальных скважин ;
 - характеристиками природного теплоносителя;
 - экологическими требованиями к установкам.

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ СТАНЦИИ ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ : ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ СТАНЦИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

- Три направления создания энергоустановок :
 1. Разработка турбоагрегатов электрической мощностью 500 - 2500 кВт с выхлопом пара в атмосферу (переменный ток, напряжение 400 В) для обеспечения стройдворов, привода электрических буровых установок взамен на дизель-генераторы.

Достоинства :

- 100 % - ная заводская готовность;
- возможность доставки ж/д транспортом;
- полная автономность;
- 90 % - ное регулирование мощности.

Недостаток :

- большой расход пара (5,6 кг/с на 1МВт электрической мощности).

ВТОРОЕ НАПРАВЛЕНИЕ :

- 2. Создание турбогенераторов мощностью 2,5 МВт (переменный ток, напряжение 6,3 кВ) с противодавленческими и конденсационными турбинами. Проектируются для использования на островах, в небольших городах и поселках. В связи с отсутствием охлаждающей воды и повышенными требованиями по защите окружающей среды в установках с конденсационными турбинами используют воздушные конденсаторы. Для повышения экономичности турбоагрегатов рассматривается создание турбины с промежуточным вводом пара низкого давления. К месту эксплуатации геотермальные энергоустановки предусматривается поставлять в виде трех-четырёх транспортабельных модулей полной заводской готовности.

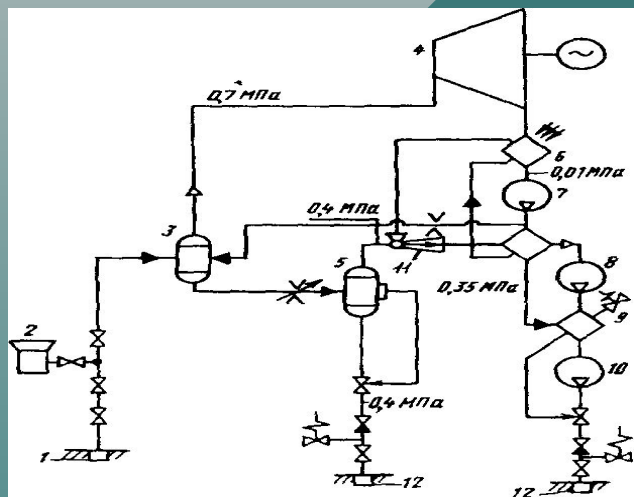
ТРЕТЬЕ НАПРАВЛЕНИЕ :

- 3. Создание геотермальных электрических станций мощностью 6 и 20 МВт, для работы в базовом режиме. Наиболее продвинутые разработки :
- одноконтурная станция электрической мощностью 20 МВт со смесительным конденсатором и мокрой градирней ; предусматривается закачка отсепарированной воды в скважины захоронения;
- одноконтурная экологически чистая станция мощностью 20 МВт с воздушным конденсатором и системой закачки отсепарированной воды (после предварительного растворения в ней сероводорода) в скважины захоронения ;
- двухконтурная экологически чистая станция мощностью 6 МВт с воздушным конденсатором ; в качестве теплоносителя второго контура используется вода, отработавший теплоноситель также направляется в скв. зах.

ОДНОКОНТУРНАЯ СХЕМА СО СМЕСИТЕЛЬНЫМ КОНДЕНСАТОРОМ И МОКРОЙ ГРАДИРНЕЙ

- Органическое сочетание этой схемы с системой обратного водоснабжения на базе мокрой градирни, большой опыт практического применения данной схемы и минимальные капитальные вложения являются основными факторами, определяющими выбор станций такого типа.
- Недостатки :
 - выброс в атмосферу большого количества влаги (около 36 кг/с на 20 МВт электрической мощности), содержащий мышьяк, бор и другие элементы, и обусловленное этим уменьшение объемов закачиваемой в пласт земли жидкой фазы отработавшего теплоносителя ;
 - занос теплообменного оборудования серой, вследствие чего приходится (через каждые 6 мес) производить очистку оборудования обратной системы (смесительного конденсатора, градирни).

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ВОЗДУШНЫМИ КОНДЕНСАТОРАМИ



Принципиальная тепловая схема 1-й очереди Мутновской ГеоТЭС.

Рис.

3

1-добычная скважина; 2-шумоглушитель; 3-сепаратор (спримвкой пара); 4-турбогенератор; 5-расширитель; 6-воздушный конденсатор; 7-конденсатный насос;

- Для обеспечения надежного функционирования таких электростанций необходимо решить ряд технических проблем, связанных, в частности, с воздействием агрессивной геотермальной среды на тепловые поверхности, с возможным обледенением вентиляторов и замерзанием конденсата в трубах.

Достоинства :

- небольшая продолжительность монтажа конденсатора и возможность получения большого количества холодной воды (42 кг/с; 45 С) для растворения содержащихся в теплоносителе агрессивных газов и экологически вредных веществ до концентрации, допускающих последующую закачку отработавшегося теплоносителя в недра земли.

ДВУХКОНТУРНАЯ СХЕМА

- Снижает требования к системе подготовки пара и ограничивает установку на скважине

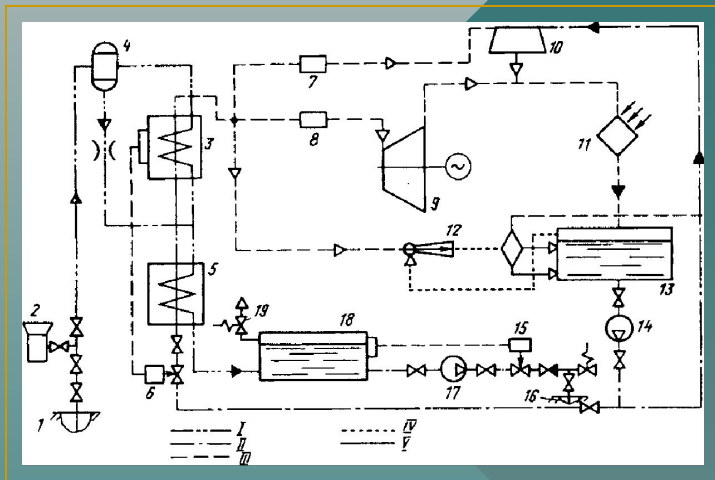


Рис. 4

1-добычная скважина; 2-шумоглушитель; 3-ПГ; 4-центробежный сепаратор; 5-экономайзер; 6-регулятор уровня ПГ; 7,8-регулирующие клапаны; 9-турбогенератор; 10-дрессельно-увлажнительное устройство;

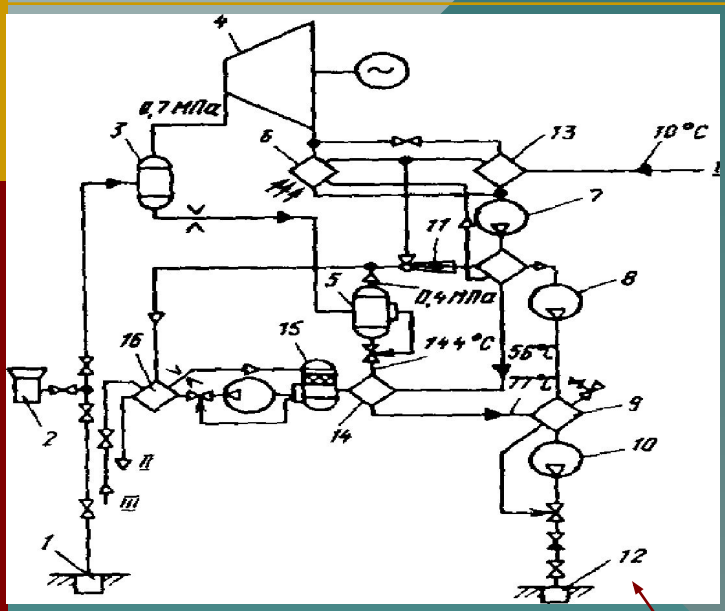
11-воздушный конденсатор; 12-пароструйный эжектор;

Снимаются проблемы, связанные :
- с коррозией и эрозией проточной части турбины, воздушного конденсатора под воздействием агрессивной геотермальной среды.

Для парогенератора :

- выполнение теплообменных труб ПГ из титановых сплавов или нержавеющей стали.

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ СТАНЦИИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ТЕПЛОФИКАЦИОННЫЕ ЭНЕРГООБЛОКИ



Принципиальная тепловая схема Мутновской
ГеоТЭС (после модернизации)

Рис. 5

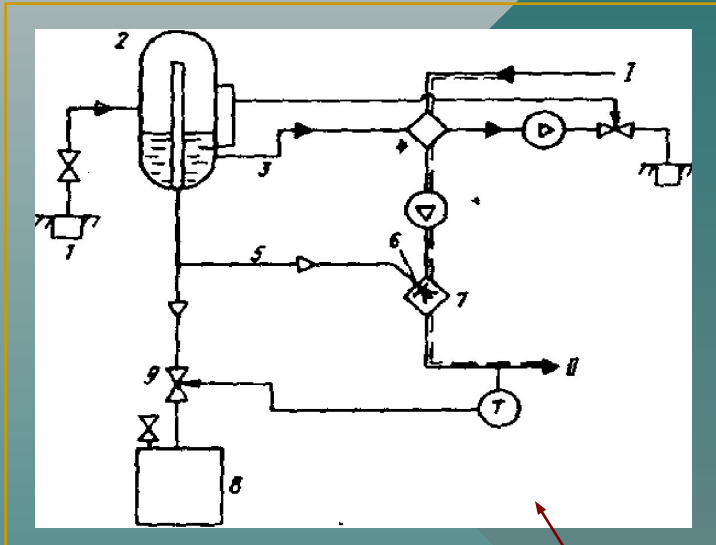
1-12-то же, что на рис. 3; 13-
смесительный
конденсатор; 14-охладитель сепаратора;
15-деаэрактор; 16-подогреватель сетевой
ВО-

- Геотермальная станция тепло-снабжения расчетной тепловой мощностью 20 МВт.
- Включает :
 - два теплообменных аппарата из титановых сплавов (сум. пл. поверх. теплообмена 700 м^2);
 - насосы сетевой и геотермальной воды;
 - систему автоматики;
 - трубопроводы и запорно-регулирующую арматуру.
- На рис.5 - модернизированная Мутновская ГеоТЭС.

ВАЖНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НПВП "Турбокон"

- Проектирование передвижной автономной модульной геотермальной установки, предназначенной для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии.
- Проектируемый модуль включает в себя турбоагрегат мощностью 2 МВт с воздушным конденсатором в контейнерном исполнении (давление пара на выходе из турбины 0,2 Мпа) и теплофикационный блок тепловой мощностью 5 МВт.
- Подобные установки целесообразно использовать в удаленных районах Сахалинской области и Курильской гряды. Их внедрение не требует больших капитальных вложений.

ГеоТЭС ПРЕДЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ



Принципиальная тепловая схема геотермальной станции теплоснабжения предельной эффективности

Рис. 6

1-добычная скважина; 2-сепаратор; 3-жидкая фаза геотермального теплоносителя; 4-водо-водяной теплообменник; 5-газовая горючая фаза геотермального теп-

- В зависимости от газового состава геотерм. теплоноситель может быть отнесен к разряду агрессивных (содержащих углекислоту и H_2S) и нейтральных (с азотом и метаном).
- Для утилизации внутренней энергии горючих газов разрабатывается проект геотермальной станции теплоснабжения предельной эффективности.
- Эта схема станции позволяет использовать тепловую энергию жидкой фазы геотермального теплоносителя и внутреннюю энергию горючего газа.

ТРАНСПОРТАБЕЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКАХ

- Экологическая обстановка :
Для улучшения экологической обстановки на территории геотермальных месторождений, было разработано техническое предложение по созданию геотермальной паротурбинной транспортабельной установки мощностью 1,5 МВт (ГеоПТТУ-1,5) применительно к природно-климатическим условиям Камчатки.
- Т.е. необходимость обеспечения работоспособности установки при $t_{\text{вн}}$ наружного воздуха от -40°C до $+35^{\circ}\text{C}$, интенсивных сейсмических воздействиях (сейсмичность района - 8 баллов), агрессивном химическом составе и наличии твердых частиц в рабочем теле, высоких ветровых и снеговых нагрузках.

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ДАННОЙ УСТАНОВКИ, ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К УСТАНОВКЕ

удаленность от центров
технического обслужива-
ния ;

суровые климатические
условия ;

автономность работы и
ограниченность объема
машинного зала ;

установка должна иметь
ресурс, равный не ме-
нее 7 годам, и приме-
няться на любых геотер-
мальных месторождени-
ях, позволяющих полу-
чать насыщенный пар
давлением от 0,3 до 1Мпа.

транспортабельность ;

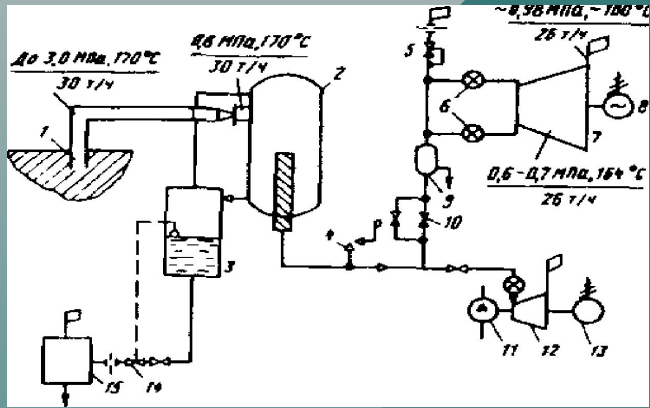
возможность работы в
условиях отсутствия ох-
лаждающей воды и ава-
рийного электроснабже-
ния;

полная автономность ;

максимальная автоматизи-
рованность ;

экологическая
безопасность.

СОСТАВ УСТАНОВКИ



Принципиальная тепловая
схема

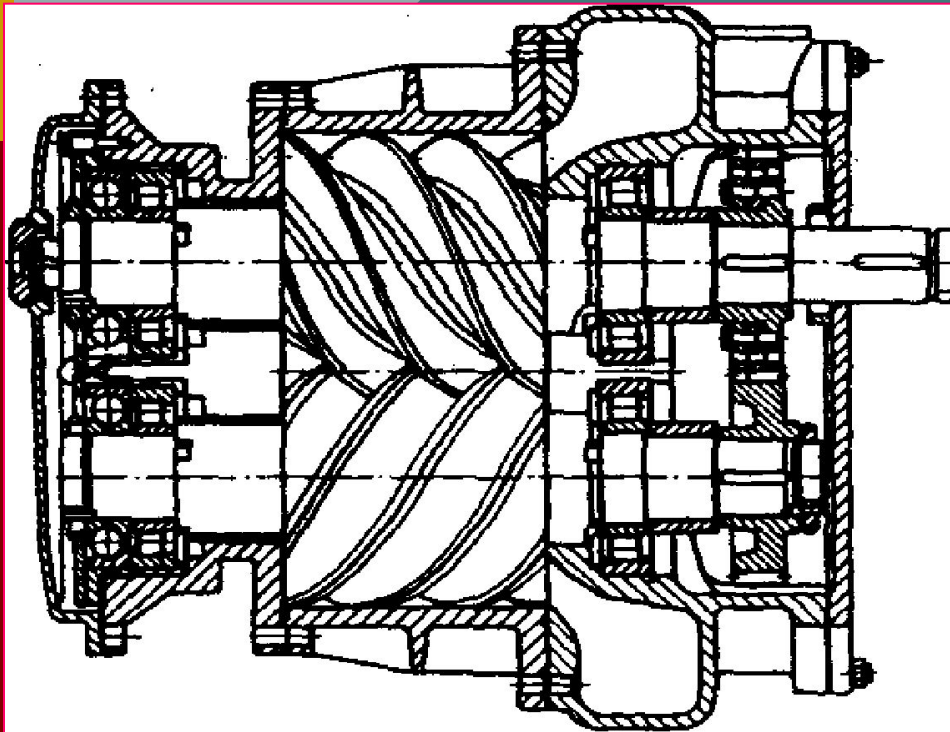
GeoNTTU-1,5

Рис. 7

- 1-скважина; 2-сепаратор; 3-влагосборник; 4-предохранительный клапан; 5-регулятор давления; 6-стопорные регулирующие клапаны; 7-паровая турбина; 8-генератор; 9-влагоудалитель; 10-ГПЗ; 11-пусковой масляный насос; 12-

- одноступенчатая осевая турбина с выхлопом в атмосферу ;
- электрогенератор с воздушным охлаждением, вырабатывающий переменный ток частотой 50 Гц ;
- системы подготовки пара, управления и маслоснабжения, а также КРУ 6,3кВ; Наличие в составе у станювки системы подготовки пара и приводной турбины, с помощью которой приводятся в действие генератор и пусковой масляный насос, создает условия для ее автономной работы.

ПАРОДЕТАНДЕРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



Горизонтальный разрез винтового
детандера

Рис. 8

- АО "Южно-Российская энергетическая компания" (ЮРЭК) предлагает новый тип парового двигателя - винтовую расширительную машину (детандер), которая обладает целым рядом преимуществ перед турбогенераторными установками.

ВИНТОВОЙ ДЕТАНДЕР (ВД)

- Относится к классу объемных машин , т.е. расширение рабочего тела происходит в замкнутом объеме рабочей полости.
- Рабочие органы детандера (два ротора, имеющие специальную винтовую нарезку) совершают не возвратно-поступательное, а вращательное движение (рис. 8).
- Двигатель компактный, уравновешенный, для него не нужен большой фундамент, не требуется механизм парораспределения, в рабочей полости двигателя отсутствуют трущиеся элементы, но стабильно работает при переменных расходах рабочего тела и, что особенно важно, нечувствителен к наличию жидкости и механических включений в газовом потоке.

СВОЙСТВО ВИНТОВЫХ МАШИН

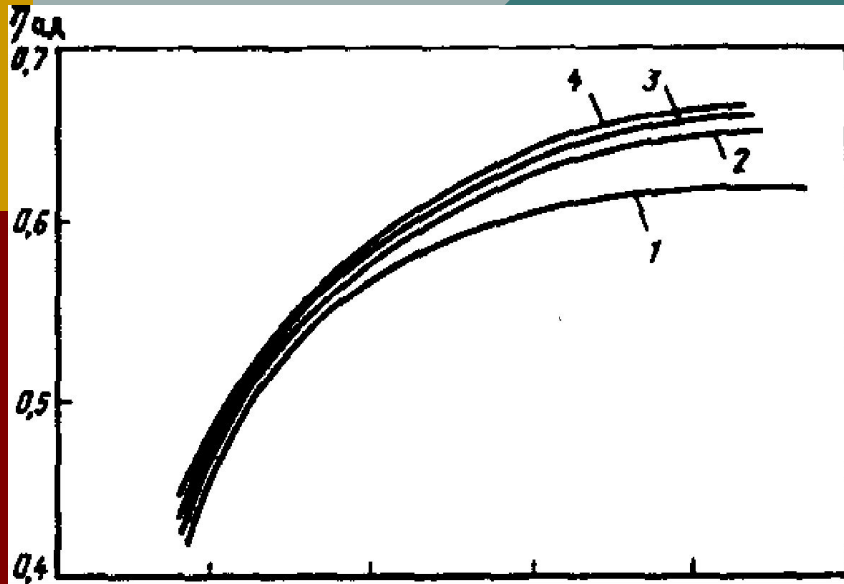


Рис. 9

Зависимость адиабатного КПД двигателя от степени расширения газа E при различной дозировке впрыскиваемой жидкости d .

- С впрыском в расширяющийся газ на входе в ВД жидкости, адиабатный КПД машины с увеличением дозировки впрыскиваемой жидкости повышается (рис. 9) ;
- увеличение количества впрыскиваемой жидкости от 3 до 60 см³/м³ привело к возрастанию исследуемого образца с 0,619-0,664 ;
- объясняется это уменьшением потерь рабочего тела, связанных с его протечками через зазоры между элементами машины, благодаря уплотнению зазоров жидкостью, содержащейся в расш. газе.

ВЫВОДЫ (1):

- 1. Существующие винтовые детандеры могут успешно применяться в геотермальной энергетике в качестве парового двигателя для привода электрического генератора.
- 2. Двигатель прост по конструкции, надежен в эксплуатации, имеет пологую характеристику (изменения эффективности). Важно подчеркнуть, что КПД двигателя возрастает при наличии в газовом потоке капельной жидкости и при появлении отложений на его рабочих элементах.
- 3. На базе ВД могут быть созданы малогабаритные установки мощностью от 100 до 800-1000 кВт. АО "ЮРЭК" уже сегодня имеет возможность организовать изготовление и поставку детандергенераторной установки мощностью 200-250 кВт, а также приступить к разработке установки на 500 кВт.

ВЫВОДЫ (2)

Использование охлаждаемых водой конденсаторов турбин на ГеоТЭС оправдано только при использовании поверхностных водостоков.

Необходимые экологические характеристики ГеоТЭС достигаются рациональным построением одноконтурной схемы станции. Применение двухконтурных схем ГеоТЭС нерационально.

Использовать конвективные градирни и конденсаторы с воздушным охлаждением-нецелесообразно.

В скважины захоронения можно направлять стоки, содержание H_2S в которых отвечает условию растворимости его при атм. давлении. Схема удаления H_2S (растворение его в воде при повышенном давлении и последующей закачкой в скв. зах.), не реализуема.

Оптимальный вариант :
улавливание H_2S из газовой фазы на участке отсоса газов из конденсатора эжектора и прямое окисление его до молекулярной серы кислородом воздуха в присутствии твердых катализаторов.

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ГТС :

- Состав :

- две скважины, вскрывающие зону фильтрации и теплоотбора;
- комплекс поверхностных сооружений и оборудования;

- Принцип работы :

- флюид (пар, вода или пароводяная смесь), фильтруясь через проницаемый породный массив от нагнетательных скважин к добычным, нагревается и канализируется по ним на поверхность под действием гидро- или геостатического давления, термолита или путем принудительного нагнетания и (или) откачки погруженными насосами. Извлеченный теплоноситель поступает в теплообменник, в котором его тепловой потенциал передается техническому теплоносителю.

ВИДЫ ГТС :

***ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ (ГЦС) ;
ФОНТАННЫЕ (ГФС)***