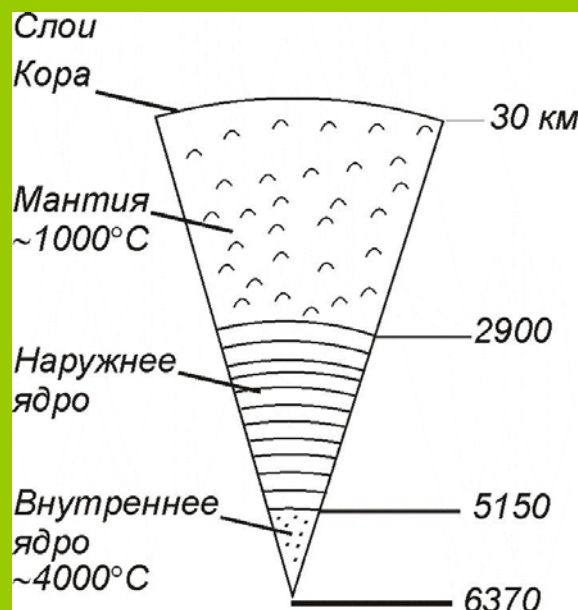


ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

1. Тепловой режим земной коры



Внутреннее строение Земли

В связи с изменением интенсивности солнечного излучения тепловой режим первых 1,5...40 м земной коры характеризуется суточными и годовыми колебаниями.

Далее имеют место многолетние и вековые колебания температуры, которые с глубиной постепенно затухают.

Величина, соответствующая углублению в метрах, при котором температура повышается на 1°C, называется **геотермической ступенью**.

Средняя величина геотермической ступени равна 33 м

Известны случаи, когда увеличение температуры на 1°C происходит при углублении на 2...3 м. Эти аномалии обычно находятся в областях современного вулканизма. На глубине 400...600 м в некоторых районах, например Камчатки, температура достигает до 150...200°C и более.

Качество геотермальной энергии обычно невысокое, и лучше его использовать непосредственно для отопления зданий и других сооружений или же для предварительного подогрева рабочих тел обычных высокотемпературных установок.

Подобные отопительные системы уже эксплуатируются во многих частях света.

Если тепло из недр получают при температуре около 150°C , то имеет смысл говорить о преобразовании его в электроэнергию.

Три класса геотермальных районов

Геотермальный. Температурный градиент – более $80^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Эти

районы расположены в тектонической зоне вблизи границ континентальных плит.

Первый такой район был задействован для производства электроэнергии в 1904 г. вблизи Лардерелло (Тоскана, Италия). Почти все из существующих ГеоТЭС размещены именно в таких районах.

Полутермальный. Температурный градиент – примерно от 40 до $80^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Подобные районы связаны главным образом с аномалиями, лежащими в стороне от границ платформ. Извлечение тепла производится из естественных водоносных пластов или из раздробленных сухих пород.

Хорошо известный пример такого района находится вблизи Парижа и используется для обогрева зданий.

Нормальный. Температурный градиент – менее $40^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Такие районы наиболее распространены, именно здесь тепловые потоки в среднем составляют примерно $0,06 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Маловероятно, чтобы в таких районах даже в будущем стало экономически выгодно извлекать тепло из недр.

2. Виды и свойства геотермальных источников энергии

2.1. Сухие скальные породы

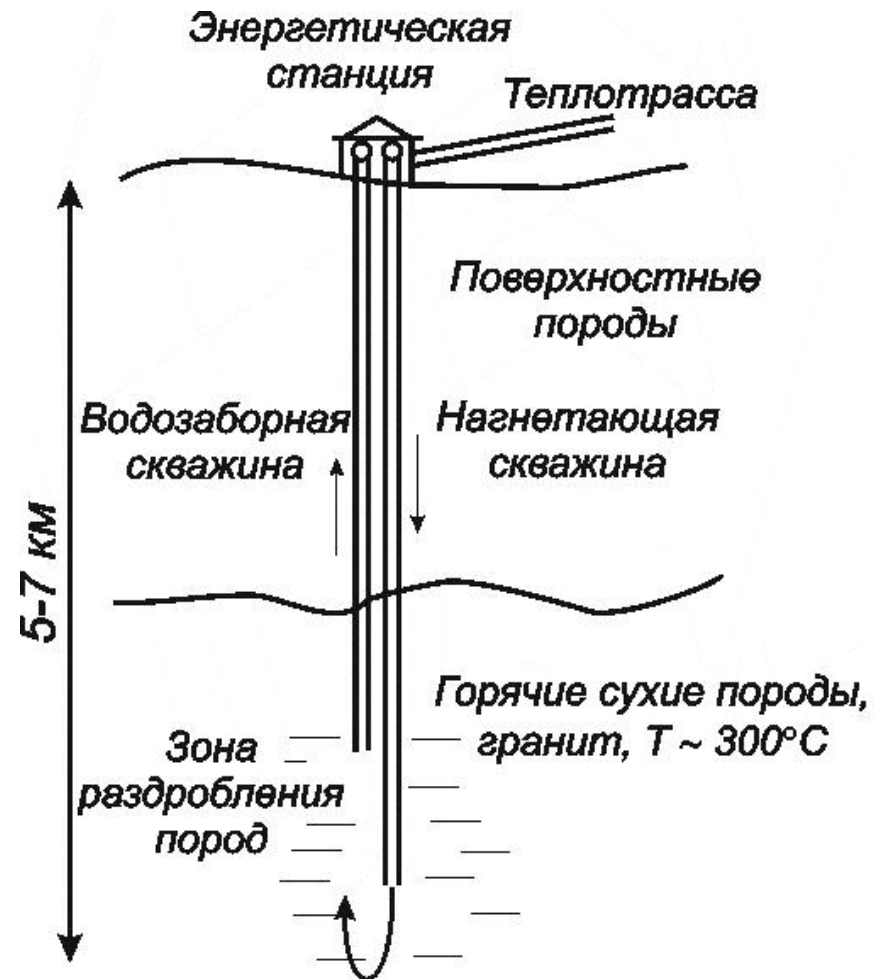


Схема извлечения тепла из сухих горных пород

2.2. Естественные водоносные пласты

В любой точке земной поверхности, на определенной глубине, зависящей от геотермических особенностей района, залегают пласты горных пород, содержащие термальные воды (***гидротермы***).

В связи с этим в земной коре следует выделять еще одну зону, условно называемую ***«гидротермальной оболочкой»***.

В соответствии с температурой теплоносителя все геотермальные источники подразделяют на:

- ❖ **эпитермальные источники** - обычно относят источники горячей воды с температурой 50...90°C, расположенные в верхних слоях осадочных пород, куда проникают почвенные воды.

- ❖ **мезотермальные источники** - источники с температурой воды 100...200°C.

- ❖ **гипотермальные источники** - температура в верхних слоях превышает 200°C и практически не зависит от почвенных вод.

Все перечисленные типы термальных вод имеют разнообразнейший химический и газовый состав.

Их общая минерализация колеблется от ультрапресных категорий (менее 0,1 г/л) до категорий сверхкрепких рассолов (более 600 г/л).

Гидротермы содержат в растворенном состоянии различные газы: активные (агрессивные), такие, как уголекислота, сероводород, атомарный водород, и малоактивные – азот, метан, водород.

В геотермальной энергетике могут быть использованы практически все виды термальных вод:

перегретые воды – при добыче электроэнергии

пресные термальные воды – в коммунальном теплообеспечении

соленоватые воды – в бальнеологических целях

рассолы – как промышленное сырье

3. Использование геотермального тепла в системах теплоснабжения

Для отопления и горячего водоснабжения жилых и производственных зданий необходима температура воды не ниже 50...60°C.

Наиболее рациональное использование термальных вод может быть достигнуто при последовательной их эксплуатации: первоначально в отоплении, а затем в горячем водоснабжении.

Но это представляет некоторые трудности, так как потребность в горячей воде по времени года относительно постоянна, тогда как отопление является сезонным, оно зависит от климатических условий района, температуры наружного воздуха, времени года и суток.

В настоящее время разработаны различные схемы использования термальных вод для отопления и горячего водоснабжения жилых и промышленных зданий.

Современные технологии использования в энергетических целях тепла подземных источников предусматривают производство тепловой энергии на геотермальных тепловых станциях (ГТС).

Вариант 1

1. Как и почему изменяется скорость вращения ротора при увеличении числа лопастей
2. КИЭВ для поверхности, движущейся в направлении ветра
3. Достоинства и недостатки ВЭУ с вертикальной осью
4. Понятие «идеального ветряка»
5. Область применения ротора Дарье

Вариант 2

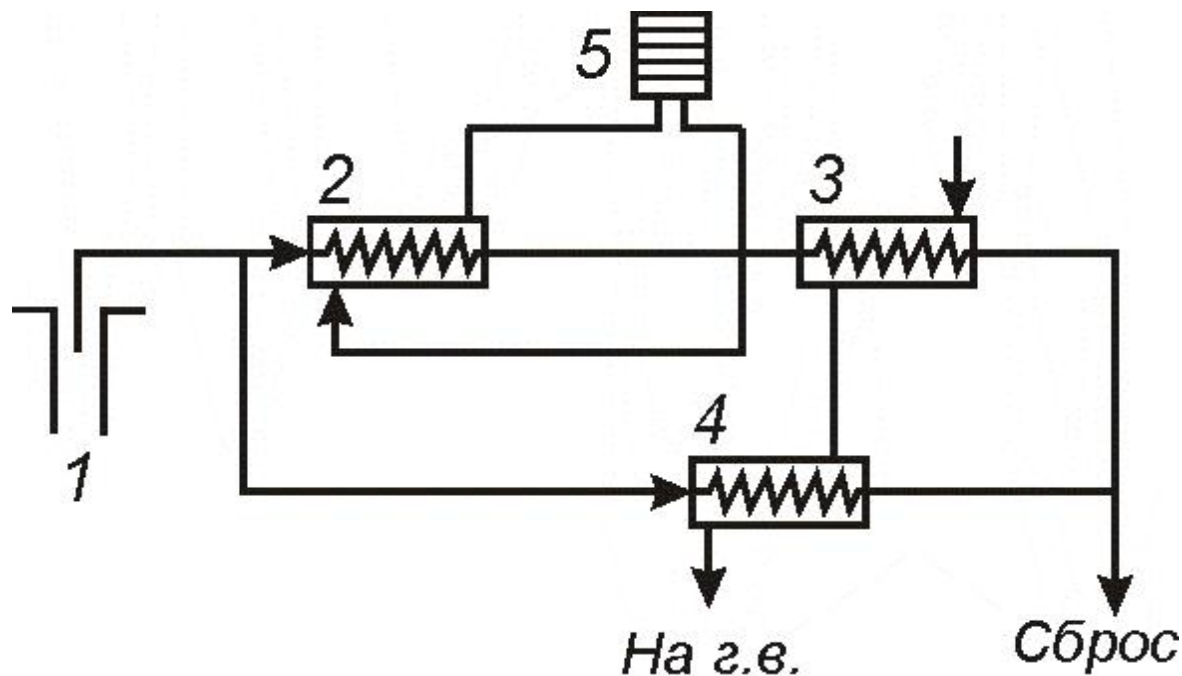
1. Достоинства и недостатки ВЭУ работающей при постоянной частоте вращения
2. Понятие угла атаки и угла заклинения лопасти крыльчатого ветродвигателя
3. Достоинства и недостатки ВЭУ с горизонтальной осью
4. Почему в мощных ВЭУ используется 2 или 3 лопасти, но не больше
5. Область применения ротора Савониуса

Вариант 3

1. Достоинства и недостатки ВЭУ работающей при переменной частоте вращения
2. Классификация ВЭУ
3. Понятие относительной скорости ветра при расчете крыльчатого ветродвигателя
4. Достоинства и недостатки крыльчатых ВЭУ
5. Область применения ротора барабанного типа

3.1. Теплоснабжение высокотемпературной сильно минерализованной термальной водой

Термальная вода имеет температуру выше 80°C , но сильно минерализована. В этих условиях возникает необходимость в устройстве промежуточных теплообменников.



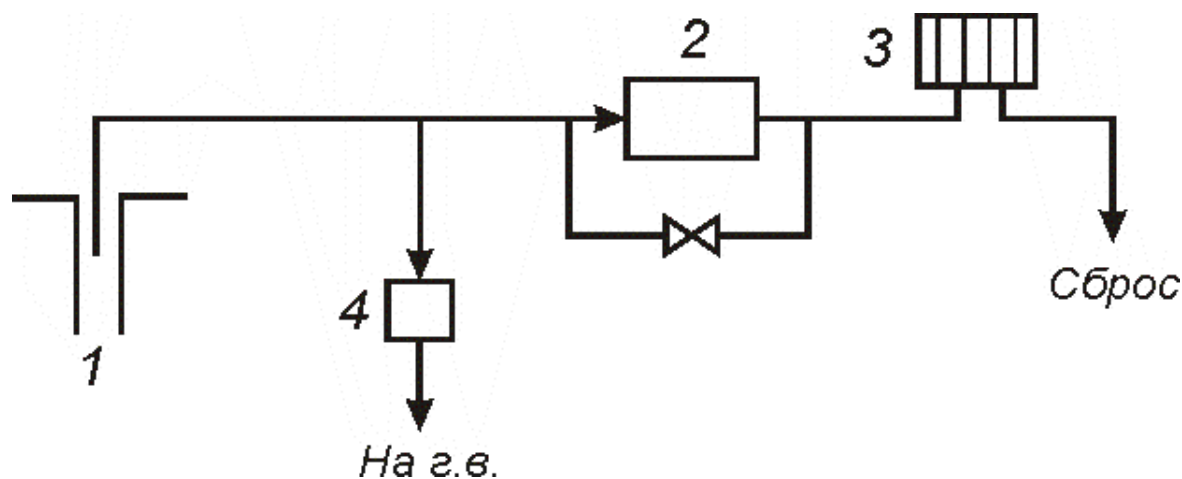
1 – скважина; 2 – теплообменник системы отопления; 3 – теплообменник горячего водоснабжения 1-й ступени; 4 – то же, 2-й ступени; 5 – система отопления

3.2. Теплоснабжение низкотемпературной маломинерализованной термальной водой

Термальная вода маломинерализована, но с низким тепловым потенциалом (температура ниже 80°C). Здесь требуется повышение потенциала термальной воды.

Осуществить это можно разными методами, приведем основные из них:

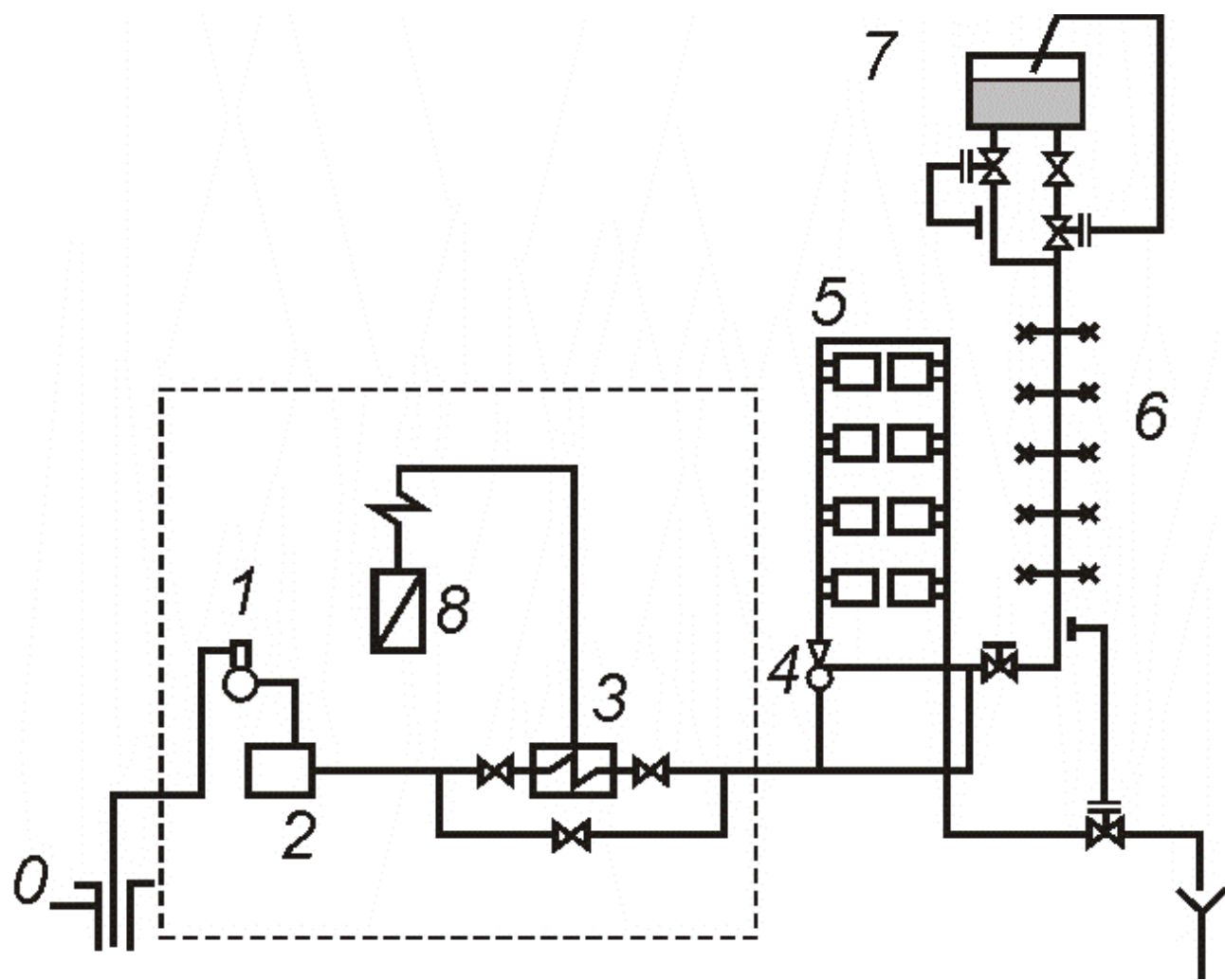
а) подача термальной воды параллельно на отопление и горячее водоснабжение и пиковый догрев отопительной воды



- 1 – скважина;
- 2 – пиковый догреватель;
- 3 – система отопления;
- 4 – бак-аккумулятор

б) бессливная система геотермального теплоснабжения

Эта схема представляет более сложный вариант предыдущей схемы. Здесь термальная вода, поступающая из скважин, нагревается до температуры 160...200°С, что обуславливается климатическими условиями и позволяет достичь равенства воды в тепловых сетях и системах горячего водоснабжения.



- 0 – скважина;*
- 1 – дегазатор;*
- 2 – химводоочистка;*
- 3 – водоподогреватель;*
- 4 – смеситель;*
- 5 – система отопления;*
- 6 – система горячего водоснабжения;*
- 7 – бак-аккумулятор;*
- 8 – котельная*

Из скважины 0 термальная вода поступает в котельную 8, затем, пройдя через дегазатор 7 и химводоочистку 2, подается в нагреватель 5.

Перегретая вода направляется в жилые дома.

Абонентский ввод каждого дома оборудован смесителем 4, в котором сетевая вода смешивается с отработанной водой из системы отопления.

Смесь требуемой температуры последовательно проходит систему отопления 5, а затем полностью расходуется в системе горячего водоснабжения 6.

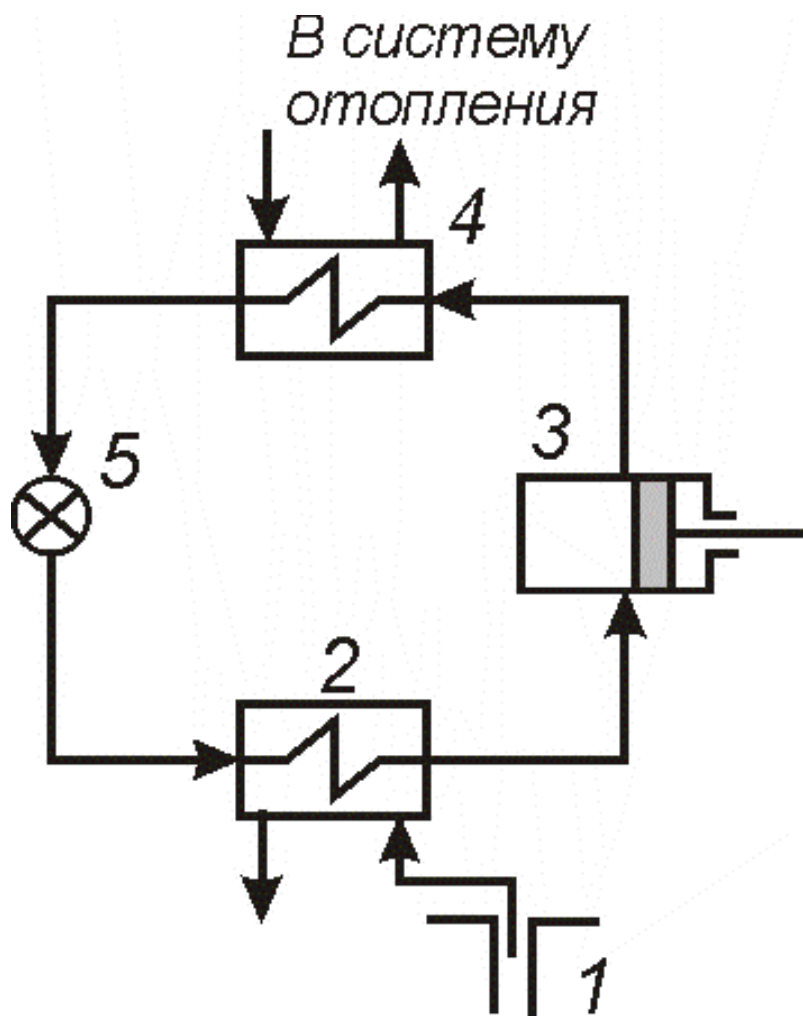
Предусмотрена возможность сброса отработанной воды из системы отопления в канализацию, а также установка бака-аккумулятора 7 для одного или группы зданий.

С повышением температуры наружного воздуха расход воды на вводе остается постоянным, часть воды поступает в систему горячего водоснабжения, минуя систему отопления по специальной перемычке.

При этом с помощью терморегулятора поддерживается одинаковая температура воды в системе горячего водоснабжения в течение всего отопительного сезона.

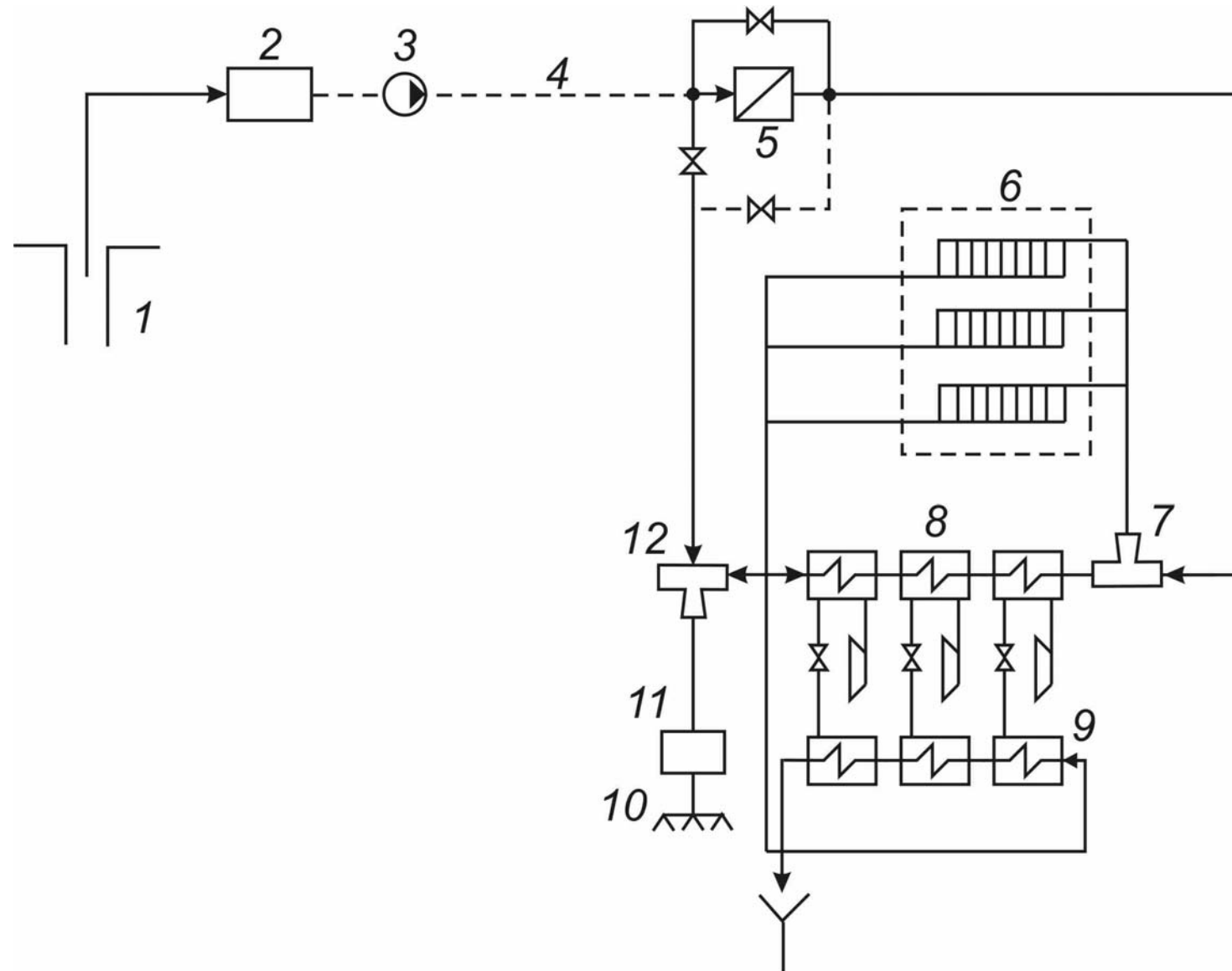
Аслямова Р.Р.	80	Арефьев А.В.	55	Альфонов В.В.	40	Гарин И.В.	
Демин И.А.	75	Беляев Д.О.	65	Бараулин П.И.		Змеев А.В.	
Дутов Л.М.	35	Григорьев М.В.	40	Беспалова Е.А.	50	Кошкарров А.В.	35
Дьяченко О.С.	60	Дель М.В.	85	Глухова А.Ю.	95	Крель А.А.	
Захаров Е.В.	35	Есипенко П.А.	65	Гончаров М.Н.	0	Дереходько Д.В.	
Кенина И.В.	45	Климова Е.А.	90	Дьяченко М.С.	75	Пищальникова К.С.	
Кишин А.А.	0	Кобелева А.Г.	45	Лоншаков А.А.	30	Показаньев Н.В.	65
Колесников П.В.	35	Кульчицкая Г.В.	55	Марусина О.А.	30	Протасевич Е.В.	
Манчин А.А.	95	Мартынов С.А.	70	Пескова И.П.	35	Смышляев О.Н.	
Перцева М.И.	55	Матусевич А.А.	65	Допов Д.С.		Степанов И.А.	60
Пушкин П.С.	100	Параскун А.В.	40	Садыков А.Н.	70	Сунин А.А.	
Сыродой С.В.	100	Пиховкина Н.В.	90	Сладков С.О.	70	Чеботарев Е.М.	
Цик А.Г.	25	Рахматулин С.В.	45	Смольянинова М.	45	Шаклеин Н.В.	50
Бардокин Д.А.	40	Садовников Е.Р.	100	Сошина Е.А.	25		
		Фролов Д.М.	50	Сошина О.А.	20		
		Чащина Ю.А.	90	Старченков П.А.	65		
		Чистяков Д.А.	40	Суходолов А.В.	65		
		Шакирова Д.Р.	65	Хамматов Р.В.	95		
		Шелпаков И.А.	45	Цурикова А.В.			
		Шихова Т.М.	60	Шилов Н.А.	90		

в) применение тепловых насосов



- 1 – скважина;
- 2 – испаритель;
- 3 – компрессор;
- 4 – конденсатор;
- 5 – регулирующий вентиль

г) совмещенное применение тепловых насосов и пикового догрева



1 – скважина; 2 – водоочистка; 3 – насосная станция; 4 – транзитный теплопровод; 5 – пиковый догреватель; 6 – система отопления; 7 и 12 – смесители; 8 – конденсаторы; 9 – испарители; 10 – система горячего водоснабжения; 11 – бак-аккумулятор; 12 – смеситель

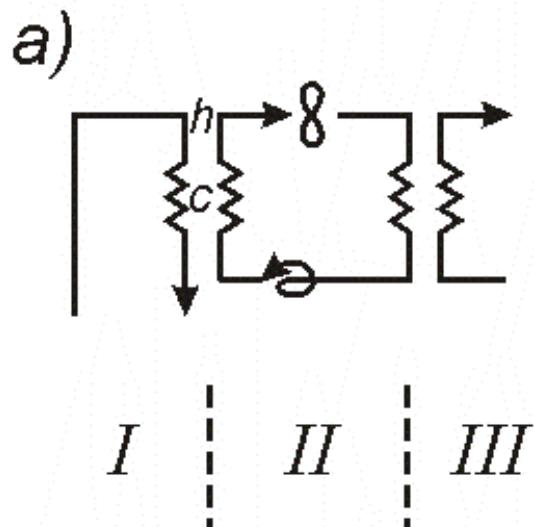
4. Использование геотермального тепла для выработки электроэнергии

Тепло в виде горячих источников и гейзеров может быть использовано для производства электроэнергии по различным схемам на геотермальных электростанциях (ГеоЭС).

Наиболее легко выполнимой схемой является схема с применением пара жидкостей, имеющих низкую температуру кипения. Горячая вода из природных источников, обогревая такую жидкость в испарителе, обращает ее в пар, используемый в турбине и служащей приводом генератора тока.

Выбор теплообменников и турбин для обычных геотермальных источников – достаточно сложная задача, требующая специальных знаний и опыта.

Несколько вариантов возможных принципиальных схем ГеоЭС приведено на рис.



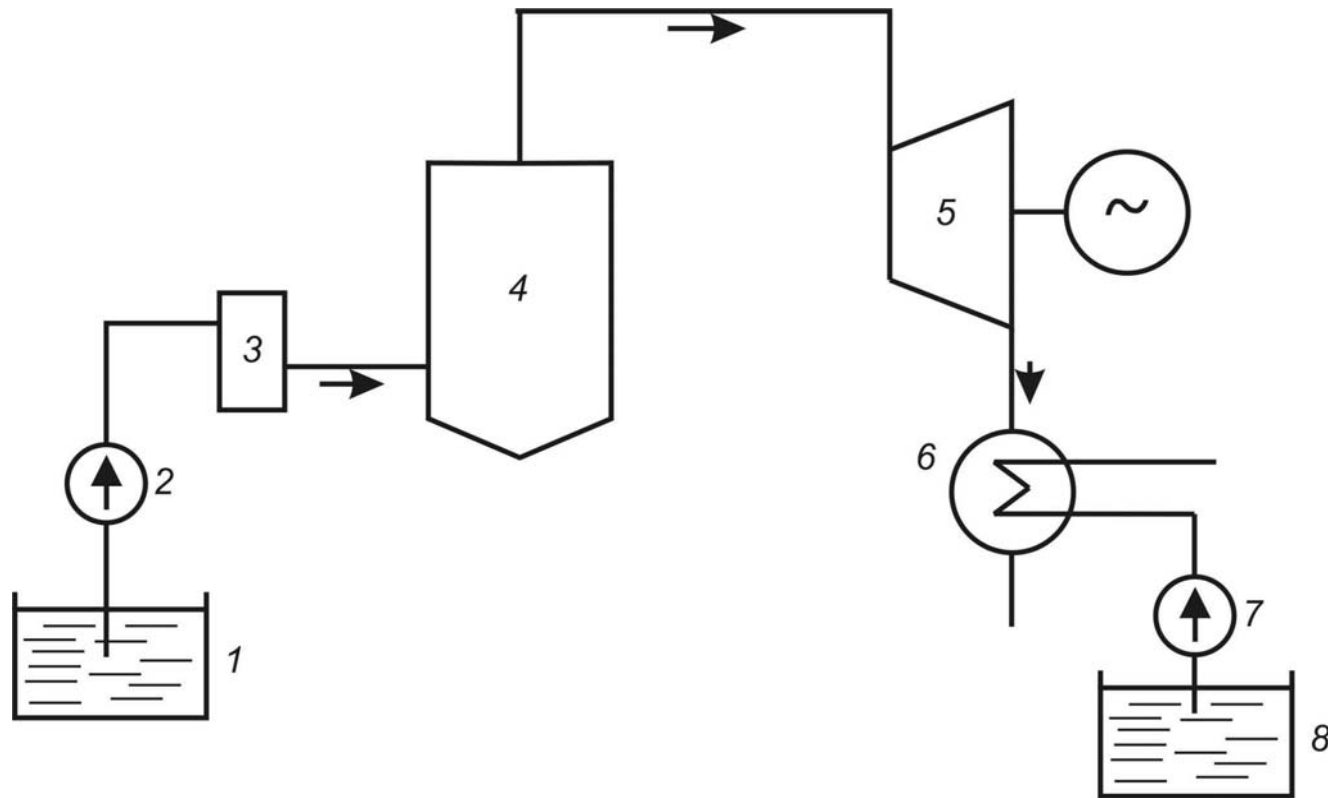
Примеры организации цикла для производства электроэнергии

I – геотермальный источник; II – турбинный цикл; III – охлаждающая вода

a – цикл с водой или фреоном б – цикл с двумя рабочими телами – водой и фреоном
в – прямой паровой цикл г – двухконтурный цикл

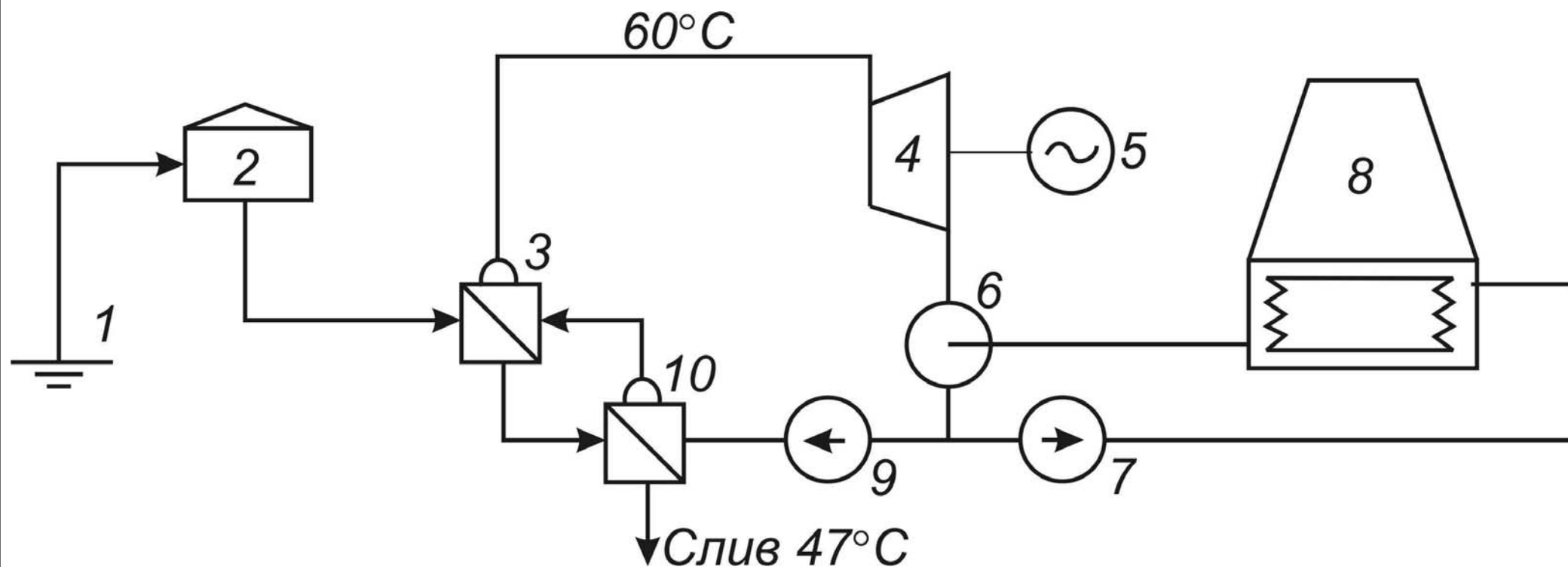
Наличие в подземном паре кислот разрушает оборудование. Поэтому в крупных установках природный пар не подводится прямо к турбине, а служит для испарения воды. Полученный в испарителе водяной пар не содержит кислот, и его можно безопасно использовать в турбине. Естественный же подземный пар конденсируется в испарителе, и из конденсата извлекают борную кислоту.

4.1. Схема небольшой ГеоЭС



- 1 – приемник горячей воды;
- 2 – насос горячей воды;
- 3 – газоудалитель;
- 4 – испаритель;
- 5 – паровая турбина с генератором тока;
- 6 – конденсатор;
- 7 – циркуляционный насос;
- 8 – приемник охлаждающей воды

4.2. Схема геотермальной электростанции с низкокипящим рабочим веществом



1 – скважина, 2 – бак-аккумулятор, 3 – испаритель, 4 – турбина, 5 – генератор, 6 – конденсатор, 7 – циркуляционный насос, 8 – поверхностный воздушный охладитель, 9 – питательный насос, 10 – подогреватель рабочего вещества

Особенности схемы

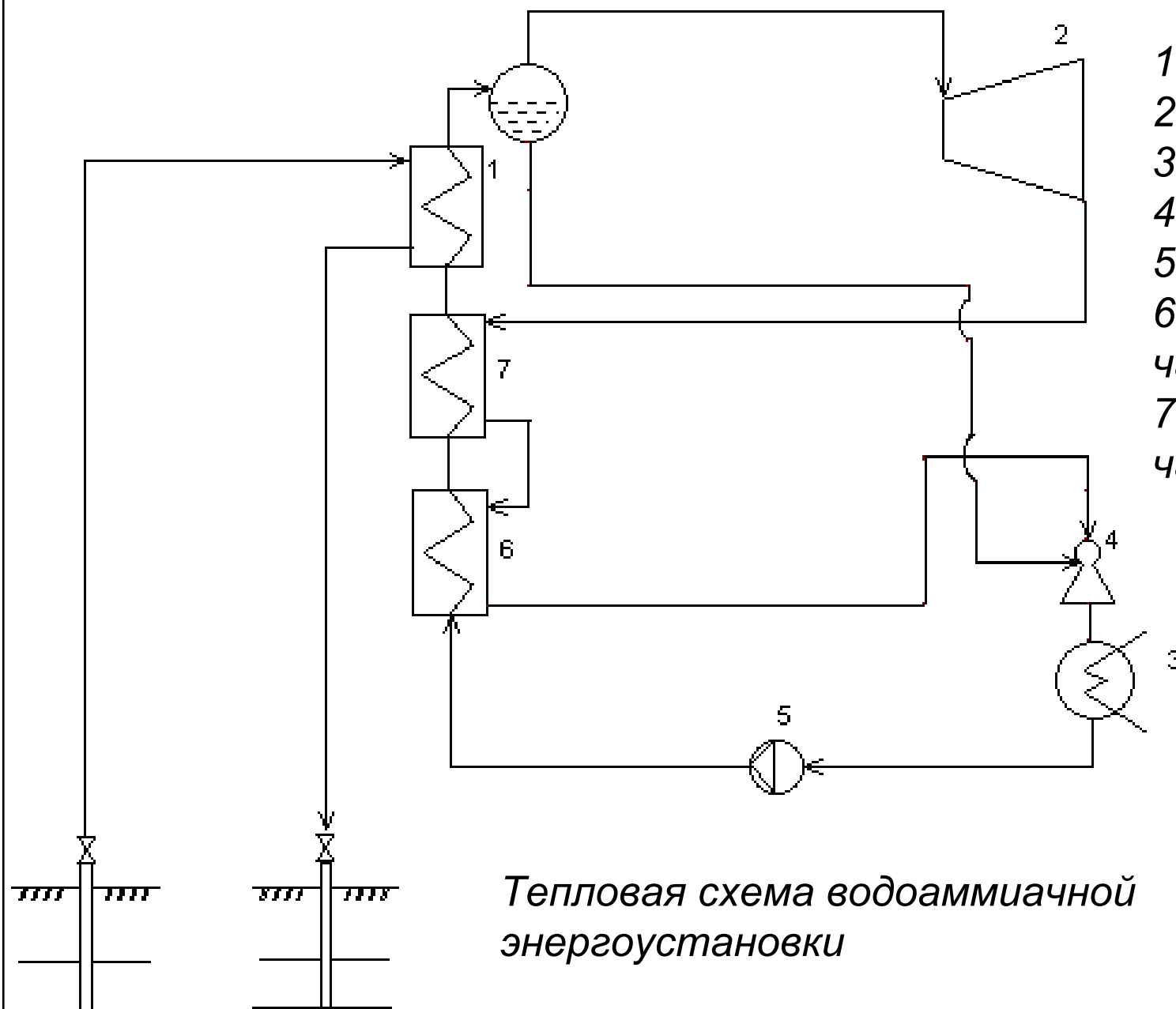
Важной особенностью этой схемы является возможность работы в зимнее время с низкими температурами конденсации. Эта температура может быть близкой к нулю или даже отрицательной, т.к. все перечисленные вещества имеют очень низкие температуры замерзания. Это позволяет значительно расширить пределы температур, используемых в цикле.

Ввиду больших давлений и малых объемов пара в испарителе и конденсаторе турбина получается очень компактной. Для всех низкокипящих веществ и для очень больших мощностей она будет состоять из одного рабочего колеса.

Данная электростанция также может быть полностью автоматизирована, и вся установка будет работать без обслуживающего персонала.

Рассмотренные схемы существуют в двухконтурном исполнении.

4.3. Двухконтурная ГеоЭС на смешанном рабочем теле



- 1 – парогенератор;
- 2 – турбина;
- 3 – конденсатор;
- 4 – эжектор;
- 5 – питательный насос;
- 6 – экономайзерная часть регенератора;
- 7 – испарительная часть регенератора

Тепловая схема водоаммиачной энергоустановки

Особенности и преимущества схемы

- ❖ возможность эффективного использования такой схемы во всем интервале температур энергетических термальных вод и пароводяной смеси - от 90 до 220°C
- ❖ водоаммиачное рабочее тело превосходит по эффективности индивидуальные РТ
- ❖ мощность на валу водоаммиачной турбины при изменении температуры термальной воды в указанном интервале меняется в пределах 15%, а мощность пароводяной и аммиачной турбин - в 4 раза
- ❖ пароводяная турбина по сравнению с водоаммиачной при этих температурах греющей воды имеет значительно большие массогабаритные показатели и работает в вакуумной области
- ❖ благодаря лучшим чем у углеводородов и фреонов характеристикам теплопередачи удается также заметно снизить удельную металлоемкость и стоимость парогенератора и конденсатора энергоустановки на водоаммиачной смеси по сравнению с энергомодулем на индивидуальных РТ. Если максимальная мощность транспортабельного энергомодуля на индивидуальных РТ не превышает 2 МВт, то на водоаммиачном РТ она может быть увеличена до 10 МВт.

5. Состояние геотермальной энергетики в России

В настоящее время в нашей стране действуют 3 геотермальных электростанции, расположенные на Камчатке: Паужетская ГеоЭС, Верхне-Мутновская ГеоЭС и Мутновская ГеоЭС. Их суммарная мощность составляет более 70 МВт.

Кроме того, на Курильских островах работает три небольшие геотермальные установки.

5. Состояние геотермальной энергетики в России

5.1. Верхне-Мутновская ГеоЭС

В 1999 г. была пущена в эксплуатацию Верхне-Мутновская ГеоЭС.

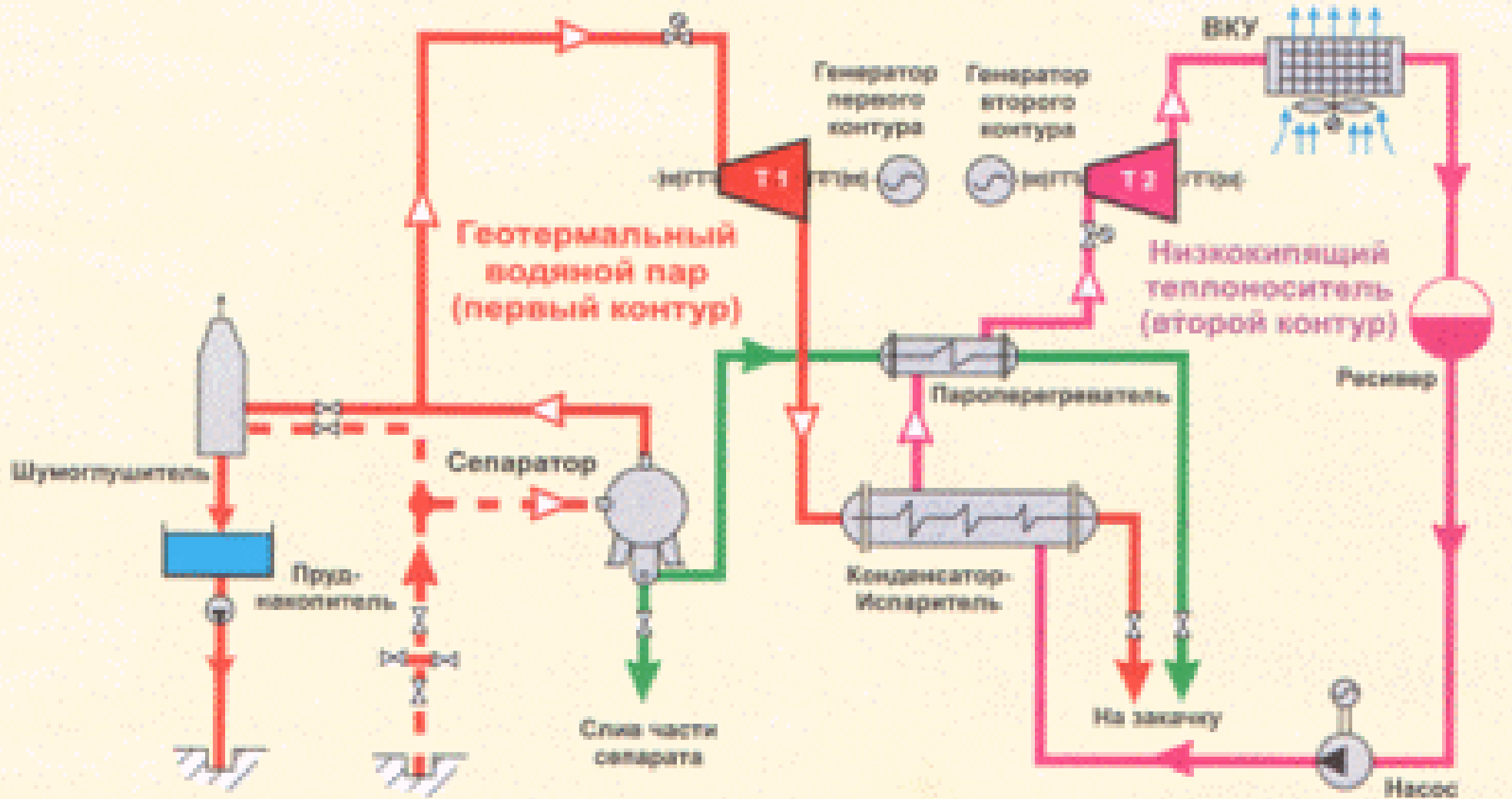
Проектирование, изготовление оборудования и строительство первой опытно-промышленной экологически чистой электростанции В-М ГеоЭС было организовано АО "Геотерм" при активной поддержке Миннауки России. Оборудование для нее было изготовлено АО "Калужский турбинный завод", АО "Подольский машиностроительный завод" и другими отечественными заводами. Вот уже на протяжении нескольких лет В-М ГеоЭС демонстрирует устойчивую, надежную работу.

Верхне-Мутновская ГеоЭС мощностью 12 МВт (3х4 МВт) является опытно-промышленной очередью Мутновской ГеоЭС проектной мощностью 200 МВт, создаваемой для электроснабжения Петропавловск-Камчатского промышленного района.

В настоящее время на площадке имеются три эксплуатационные скважины, суммарный дебит пара из которых превышает потребность трех устанавливаемых энергомодулей по 4 МВт с паровыми турбинами.

Кроме того, эти энергомодули не полностью используют тепло отсепарированной термальной воды, закачиваемой в пласт с температурой 150°C. В проекте последующих очередей Мутновской ГеоЭС также не предусматривается использование тепла термальной воды, поэтому с применением только паровых турбин общая мощность ГеоЭС на Мутновском месторождении не превысит 200 МВт.

Предлагается в течение трех лет разработать и испытать на Верхне-Мутновской ГеоЭС пилотный двухконтурный аммиачный энергомодуль мощностью 6 МВт, работающий на избыточном паре из существующих скважин и тепле сбросной геотермальной воды, которая будет дополнительно охлаждаться до 100°C.



Продуктивная скважина Скважина зачекан

Условные обозначения

- - - ➤ Пароводная смесь
- Геотермальный водный пар
- Конденсат водного пара
- Сепарат
- Теплоноситель втор. конт. (пар)
- Теплоноситель втор. конт. (жид.)







5.2. Мутновская ГеоЭС-1

17 сентября 2002 г. первый энергоблок Мутновской ГеоЭС-1 был включен в сеть. Несколько днями позже, 27 сентября был введен в эксплуатацию второй энергоблок.

На сегодняшний день Мутновская ГеоЭС-1 - одна из лучших геотермальных электростанций в мире по экологическим параметрам и уровню автоматизации.

Ведётся строительство 3-го блока Мутновской ГеоЭС, которая состоит из 4-х блоков по 25 МВт.

ОАО "Геотерм" разработало также ТЭО инвестиций на сооружение 4-го блока Верхне-Мутновской ГеоЭС с использованием бинарного цикла, что позволит увеличить эффективность использования геотермального теплоносителя на 20-25%.

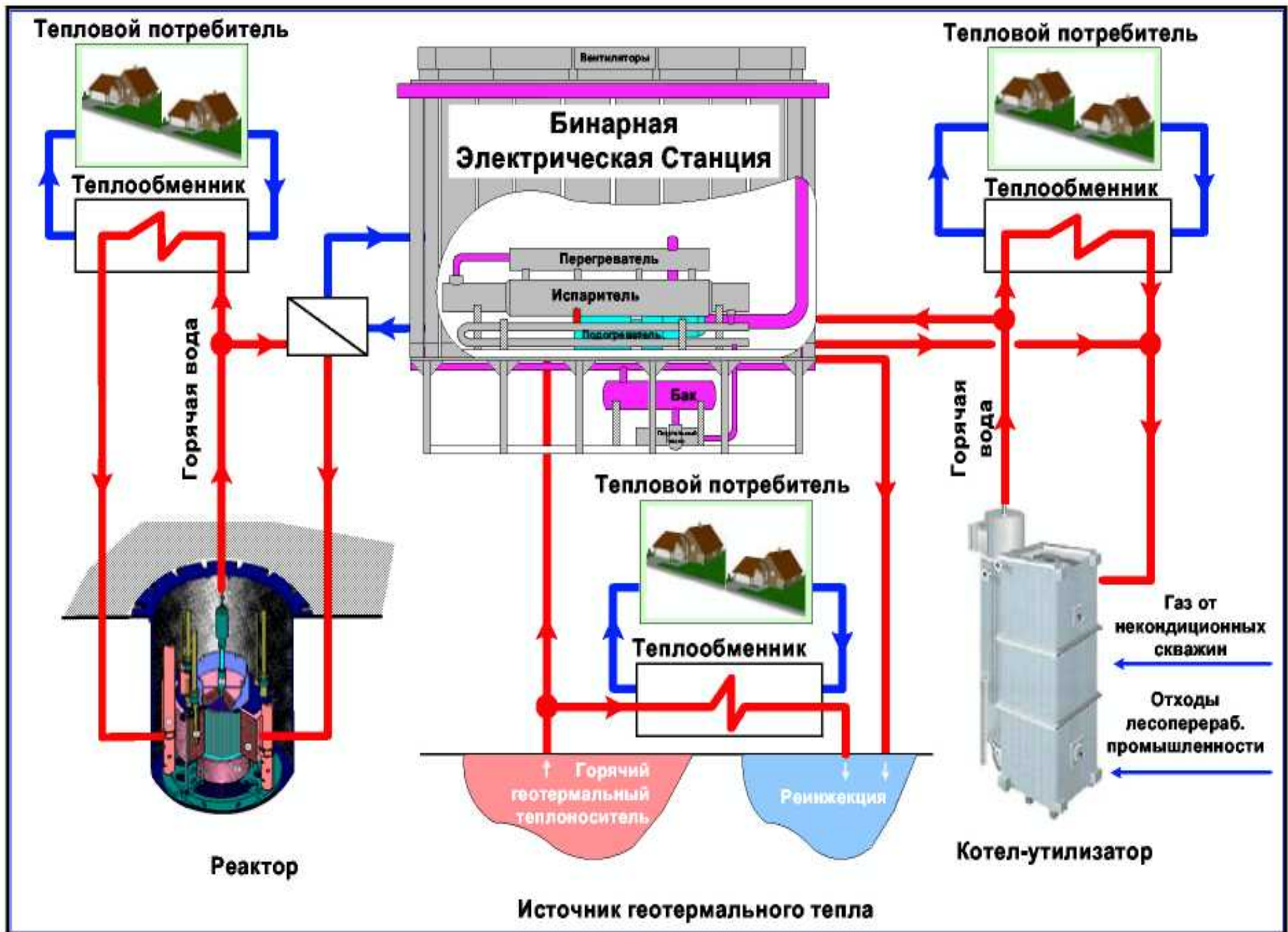
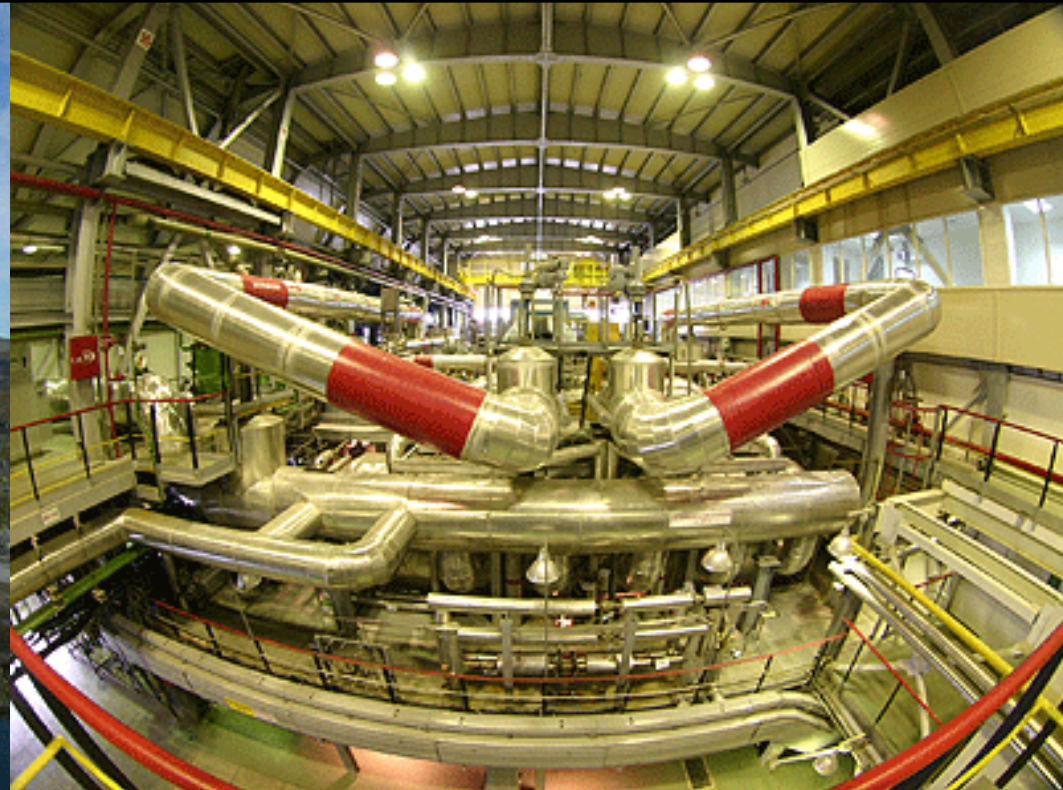
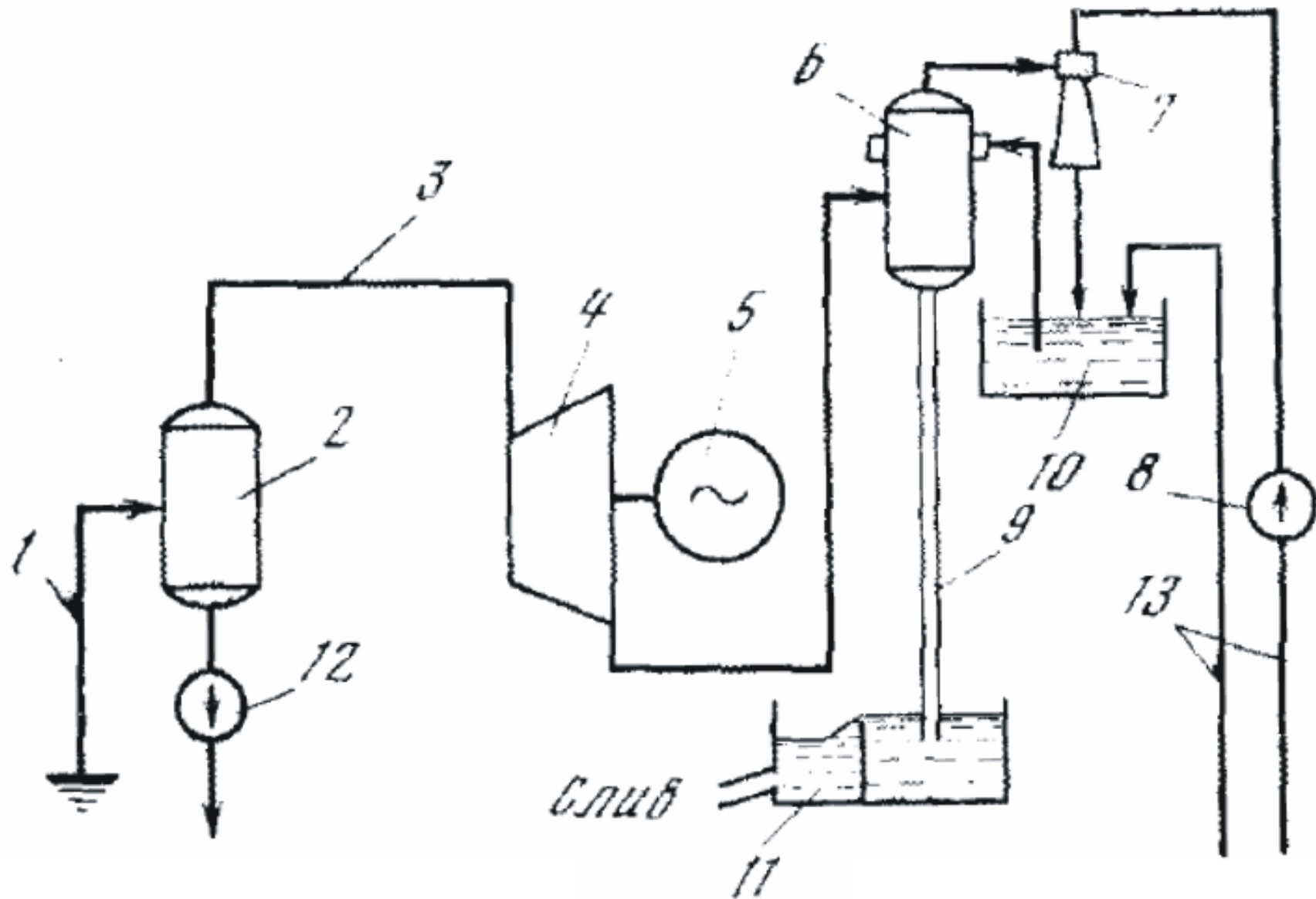


Рис. 2 Схема геотермальной бинарной электрической станции.



5.3. Паужетская ГеоЭС

На Паужетской ГеоТЭС мощностью 14,5 МВт (2004 г) используется на паровых турбинах только отсепарированный геотермальный пар из пароводяной смеси, получаемой из геотермальных скважин. Большое количество геотермальной воды (около 80% общего расхода ПВС) с температурой 120°C сбрасывается в нерестовую реку Озерная, что приводит не только к потерям теплового потенциала геотермального теплоносителя, но и существенно ухудшает экологическое состояние реки.



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

