

# Особенности оборудования ГеоТЭС

Выполнил: Бусахин Владимир



Геотермальные электростанции (ГеоЭС) – сооружения для получения электрической энергии за счет природного тепла Земли.

Рассмотрим типичные тепловые схемы и оборудование действующих ГеоТЭС (геотермальных тепловых станций).



# Геотермальные ТЭС с использованием низкокипящих чистых или смесевых рабочих тел

Во избежание солеотложений, возникающих при упаривании геотермальных рассолов в схемах с расширителями, применяется схема с использованием низкокипящих рабочих тел.

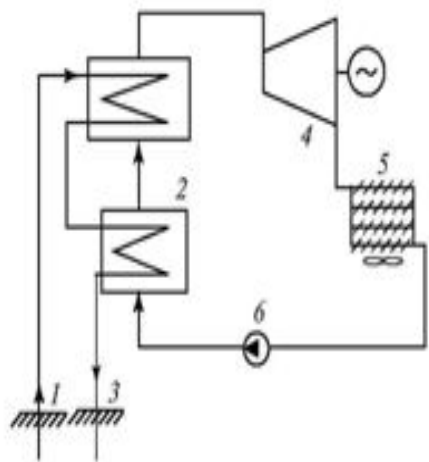
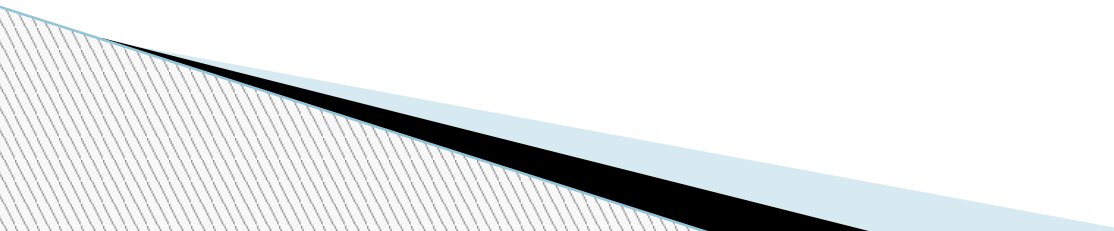
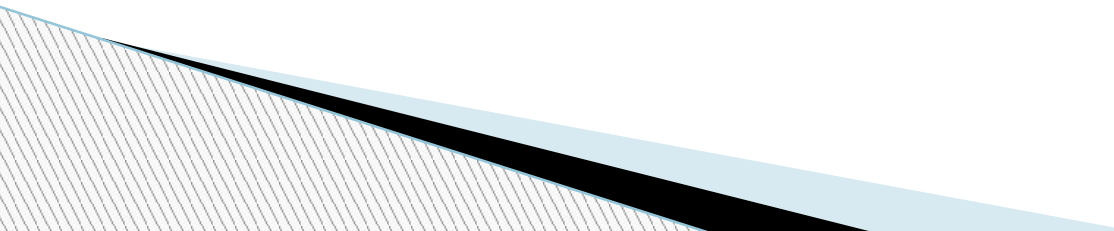


Рис. 1. Схема ГеоТЭС с использованием низкокипящих рабочих тел: 1 – подъемная скважина; 2 – теплообменник–парогенератор; 3 – нагнетательная скважина; 4 – турбина; 5 – конденсатор; 6 – циркуляционный насос

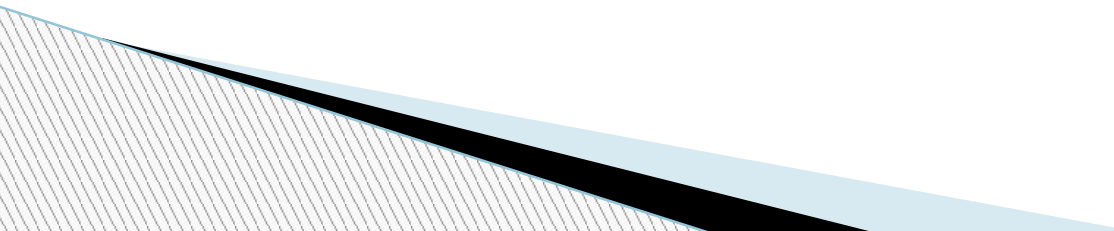
Геотермальный рассол из подъемной скважины 1 поступает в теплообменник–парогенератор 2 (который обычно выполняется в виде двух кожухотрубных аппаратов — испарителя и подогревателя (экономайзера)). После охлаждения до предельной температуры, определяемой условием отсутствия солеотложений, рассол возвращается обратно в пласт по нагнетательной скважине 3. В связи с высокой стоимостью скважин, для увеличения расхода геотермального рассола иногда применяются погружные насосы, размещаемые на глубине до 200 м в подъемной скважине, а для обратной закачки практически всегда используется нагнетательный насос перед реинжекционной скважиной 3.



В качестве рабочих тел таких ГеоТЭС используются хладагенты (углеводороды: пропан, бутан, фреоны, в последнее время рассматривается возможность применения водоаммиачной смеси). Жидкое рабочее тело подогревается и испаряется в парогенераторе 2 и подается на вход турбины 4. Расширение пара низкокипящих рабочих тел в турбине происходит (в отличие от водяного пара) в области сухого пара, что связано с аномальным видом правой ветви их кривых насыщения в  $T,s$ -диаграмме—энтропия уменьшается при снижении температуры, поэтому из турбины выходит сухой пар.



Если его температура значительно выше температуры конденсации, определяемой обычно температурой воздуха, целесообразно вернуть избыточное тепло в цикл, для чего используется непоказанный на схеме рекуперативный теплообменник, устанавливаемый перед конденсатором 5, который обычно является воздухоохлаждаемым из-за дефицита охлаждающей воды. Сконденсированное рабочее тело циркуляционным насосом 6 подается на вход парогенератора (при наличии рекуператора—через него).



# Геотермальные ТЭС на месторождениях пароводяной смеси с

## противодавленческими турбинами

На месторождениях пароводяной смеси в вулканических районах (в России это Камчатка и Курильские острова) простейшим способом получения электроэнергии является использование противодавленческих паровых турбин.

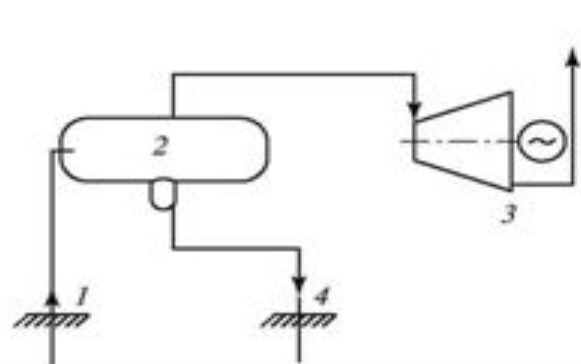
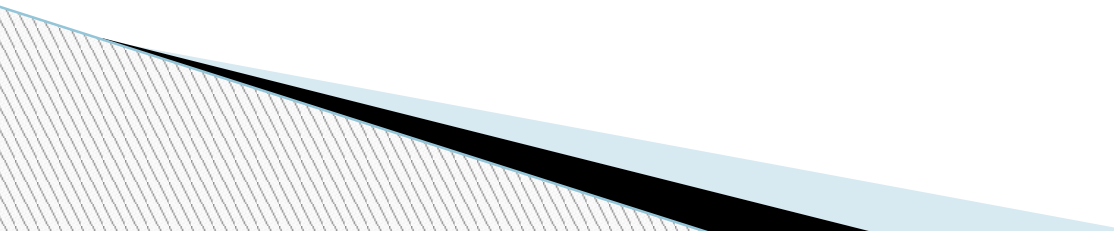


Рис. 2. 1 – подъемная скважина, 2 – сепаратор; 3 – паровая турбина с генератором; 4 – нагнетательная скважина.

Поступающая из геотермального резервуара по подъемной скважине 1 пароводяная смесь направляется в сепаратор 2, где происходит разделение на жидкую (вода с растворенными солями и газами) и газовую (водяной пар и пластовые неконденсирующиеся газы) фазы. Затем парогазовая смесь поступает на противодавленческую паровую турбину с генератором 3, отработанный пар с неконденсирующимися газами сбрасывается в атмосферу, а отсепарированная вода после возможного использования для теплоснабжения возвращается в геотермальный резервуар по нагнетательной (реинжекционной) скважине 4. При низком солесодержании возможен сброс отработанной воды в открытые водоемы.



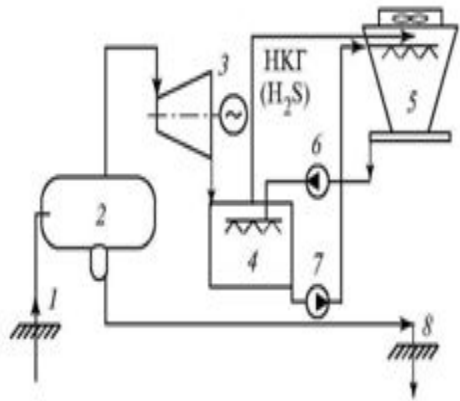


Энергоблоки с противодавленческими турбинами обычно применяются при очень высоком содержании в газовой фазе неконденсирующихся газов (12... 15 % по массе), когда их удаление из конденсатора становится энергетически и экономически невыгодным. Если по геологическим причинам время эксплуатации геотермального месторождения недостаточно для окупаемости конденсационных энергоблоков, то разработка месторождения вплоть до истощения может проводиться противодавленческими энергоблоками. Кроме того, энергоблоки с противодавленческими турбинами иногда используются при разработке геотермальных месторождений для привода буровых станков вместо дизелей, а также в качестве пусковых комплексов ГеоТЭС с последующей возможной заменой на конденсационные блоки.

# Геотермальные ТЭС на месторождениях пароводяной смеси с конденсационными турбинами

На большинстве действующих ГеоТЭС применяется тепловая схема с конденсационными турбинами. Она более эффективная по сравнению с тепловой схемой с противодавленческими турбинами.

Рис. 3. Схема ГеоТЭС с конденсационной турбиной: 1 – подъемная скважина; 2 – сепаратор; 3 – конденсационная турбина; 4 – конденсатор; 5 – градирня; 6 – циркуляционный насос; 7 – конденсатный насос; 8 – нагнетательная скважина.



Геотермальная пароводяная смесь или влажный пар с неконденсирующимися газами (НКГ) из подъемной скважины 1 подается в сепаратор 2, откуда пар поступает на вход конденсационной турбины 3, а минерализованная вода направляется на реинжекционную скважину 8 для возврата в пласт. Отработанный пар подается в смешивающий конденсатор 4. Поскольку в большинстве случаев на геотермальных месторождениях нет источников охлаждающей воды (реки или пруда–охладителя), применяется обратная система отвода сбросного тепла, включающая циркуляционный насос 6, башенную градирню 5 и конденсатный насос 7. Неконденсирующиеся газы, обычно содержащие большое количество сероводорода, удаляются из конденсатора эжекторами и подаются на верхний срез градирни для рассеивания в атмосфере вместе с паровым факелом.

# Геотермальные ТЭС на месторождениях пароводяной смеси или геотермальных рассолов с конденсационными турбинами и одно– или многократным расширением геотермального флюида

Если на месторождениях пароводяной смеси температура отсепарированной воды достаточно высока (выше 100 °С), то можно путем расширения [сбросом давления в расширителе 9 (рис.4) получить дополнительный пар, который направляется на промежуточный вход турбины.

Это позволяет получить дополнительную работу и, тем самым, повысить КПД энергоустановки. Таких каскадов теоретически может быть несколько. На практике, однако, возможность применения таких схем ограничивается солеотложением в элементах оборудования в результате повышения концентрации солей выше предельной растворимости.

На месторождениях пароводяной смеси раньше всего образуются отложения кремневой кислоты, растворимость которой быстро уменьшается при снижении температуры. На месторождениях геотермальных рассолов, добываемых из карбонатных коллекторов (Северный Кавказ) при расширении рассолов выделяется растворенный  $\text{CO}_2$ , что приводит к нарушению углекислотного равновесия и образованию отложений кальцита, магнезита и т.п. Поэтому применение схем с расширителями возможно лишь при отсутствии массивных солеотложений или при использовании регулярной очистки оборудования.

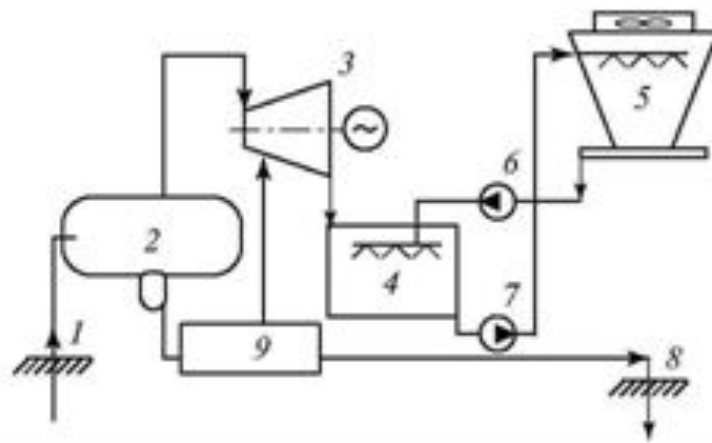


Рис. 4. Схема геотермальной электростанции с конденсационной турбиной и расширением геотермального флюида:

1 – подъемная скважина; 2 – сепаратор; 3 – конденсационная турбина; 4 – конденсатор; 5 – градирня; 6 – циркуляционный насос; 7 – конденсатный насос; 8 – нагнетательная скважина; 9 – расширитель.

# Геотермальные ТЭС комбинированного цикла с паровой турбиной в верхнем цикле и низкокипящим рабочим телом в нижнем цикле

Для более полного использования теплового потенциала геотермальной пароводяной смеси целесообразно использовать комбинированную тепловую схему.

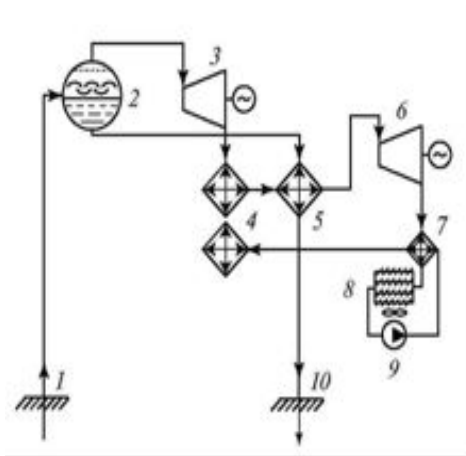


Рис. 5. Схема ГеоТЭС комбинированного цикла:

*1* – подъемная скважина; *2* – сепаратор; *3* – паровая турбина; *4* – конденсатор; *5* – пароперегреватель; *6* – бинарная турбина; *7* – рекуператор; *8* – воздушный конденсатор; *9* – питательный насос; *10* – нагнетательная скважина.

Из подъемной скважины 1 пароводяная смесь подается в сепаратор 2, откуда пар направляется в противодавленческую паровую турбину 3, после выхода из турбины пар поступает в конденсатор 4, являющийся парогенератором низкокипящего рабочего тела. Образующийся конденсат используется на станции. Отсепарированный горячий геотермальный рассол подается в пароперегреватель низкокипящего рабочего тела 5, после чего возвращается в пласт по нагнетательной скважине 10. Перегретый пар низкокипящего РТ подается на вход бинарной турбины 6, после расширения в которой идет в рекуператор 7, где охлаждается и идет в воздушный конденсатор 8.



Сконденсированное низкокипящее РТ питательным насосом 9 подается на предварительный подогрев в рекуператор 7 и затем в парогенератор 4. Такая схема позволяет использовать тепло отсепарированного рассола для перегрева низкокипящего РТ, что приводит к увеличению КПД ГеоТЭС. Особенно эффективно применение такой схемы при низких температурах воздуха, так как благодаря низким температурам замерзания низкокипящих РТ (ниже  $-50$  °С) можно осуществлять конденсацию при отрицательных температурах.

***Спасибо за внимание!***

