

10. Использование геотермальной энергии для выработки тепловой и электрической энергии.

10.1. Прямое использование геотермальной энергии

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. 10.1.1).

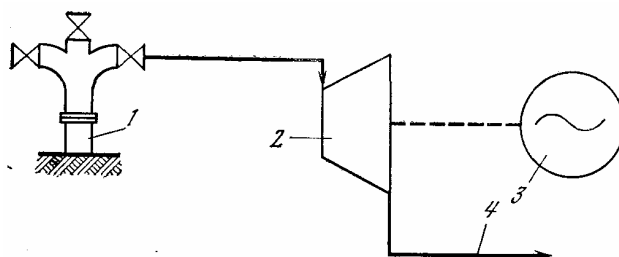


Рис.10.1.1. Схема геотермальной электростанции с непосредственным использованием природного пара: 1 – скважина; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – выход в атмосферу или на химический завод.

Турбогенераторные установки с противодавлением не препятствуют промышленному использованию химических веществ, содержащихся в природном теплоносителе. Так, например, в природном паре некоторых месторождений Италии содержится 150-700 мг/кг борной кислоты, и при помощи подобных установок можно добывать этот ценный продукт одновременно с выработкой электроэнергии.

Рассмотренная схема может стать самой выгодной для тех районов, где имеются достаточные запасы природного пара. Рациональная эксплуатация обеспечивает возможность эффективной работы такой установки даже при переменном дебите скважин.

В Италии работает несколько таких станций. Одна из них – мощностью 4 тыс. кВт при удельном расходе пара около 20 кг/сек, или 80 т пара в час; другая – мощностью 16 тыс. кВт, где установлено четыре турбогенератора мощностью по 4 тыс. кВт. Последняя снабжается паром от 7-8 скважин.

В подобных схемах требуется значительное количество пара, который с большим успехом может быть использован в турбинах конденсационного типа.

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. 10.1.2).

По такой схеме работает геотермальная электростанция Лардерелло-3, использующая природный пар, самая крупная в Италии. Она была спроекти-

рована в начале второй мировой войны, но вступила в строй только в послевоенные годы. На электростанции установлено четыре турбогенератора мощностью по 26 тыс. кВт и два турбогенератора по 9 тыс. кВт. Последние предназначены для покрытия собственных нагрузок.

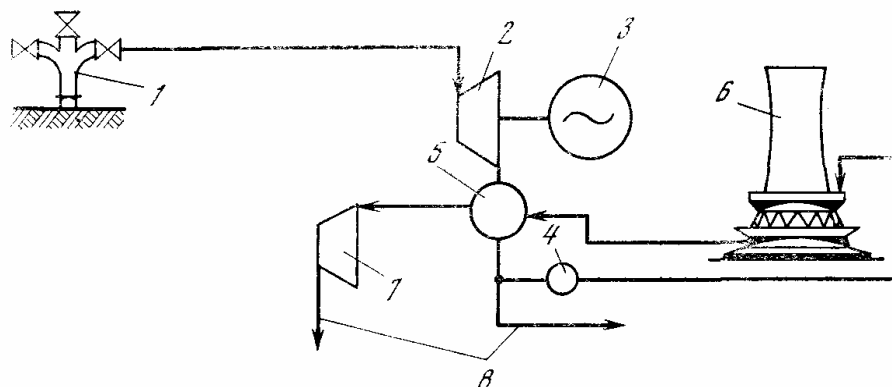


Рис. 10.1.2. Схема геотермальной электростанции с конденсационной турбиной и прямым использованием природного пара: 1 – скважина; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – насос; 5 – конденсатор; 6 – градирня; 7 – компрессор; 8 – сброс.

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.

10.2. Геотермальные электростанции с бинарным циклом

Геотермальная электростанция с паропреобразователем. Конденсационная турбина с паропреобразователем работает на вторичном паре. Эти станции наиболее выгодны там, где природный пар имеет высокую темпера-

туру 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. 10.2.1), позволяет полностью использовать все химические вещества, содержащиеся в природном паре.

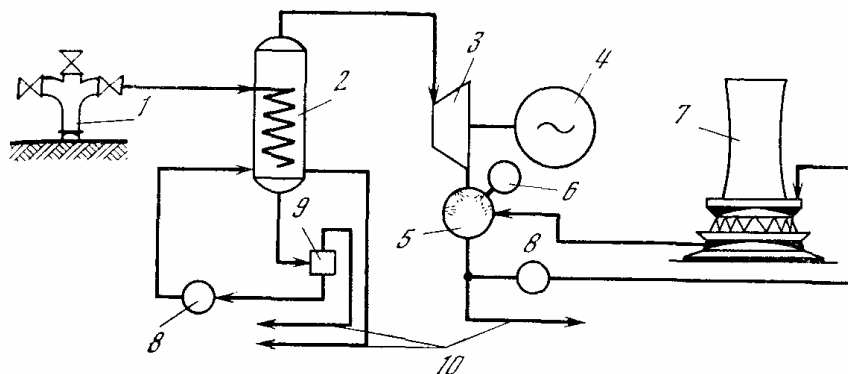


Рис. 10.2.1. Схема геотермальной электростанции с паропреобразователем: 1 – скважина; 2 – паропреобразователь; 3 – турбина; 4 – генератор; 5 – конденсатор; 6 – вакуумный насос; 7 – градирня; 8 – насос; 9 – дегазатор; 10 – сброс.

Опыт подтверждает, что стоимость строительства геотермальной электростанции с паропреобразователем немного больше стоимости электростанции с прямым использованием пара в конденсационной турбине. По схеме с паропреобразователем были построены электростанции Лардерелло-2 и Кастельнуово (Италия). На станции Лардерелло-2 установлено 7 турбин мощностью по 11 тыс. квт. Удельный расход пара на этой электростанции — 14 кг/квт.

Геотермальные электростанции с конденсационной турбиной, рабо-

тающие 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 Хвергерди) и в других странах.

Рассмотренная схема имеет свои преимущества. Полученный в сепараторе пар практически не содержит газов, что облегчает работу турбин.

10.3. Схема Паужетской ГеоТЭС

В настоящее время проведены геологические, геофизические, гидрогеологические и другие исследования тепло-аномальных районов Камчатки; обнаружены большие ресурсы термальных вод с высокой температурой.

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.

В 1957 г. началось бурение разведочных скважин. При бурении на термальные воды, особенно в зоне вулканических проявлений, применяли глинистый раствор и, непрерывно промывая, охлаждали ствол скважины, что предотвратило пароводяные выбросы. Всего была пробурена 21 скважина глубиной от 220 до 480 м. Каждая в среднем давала около 10 кг/сек пароводяной смеси с теплосодержанием 170 ккал/кг. Одна из них с глубины 250 м вскрыла температуру 195 °С, другая с глубины 375 м – 200° С.

По химическому составу Паужетские гидротермы принадлежат к типу хлоридных натриевых вод. Общая минерализация их составляет 1,0-3,4 г/л,

температура на выходе из скважин – 144-200 °С, давление на устье скважины – 2-4 атм, рН от 8,0 до 8,2. Термальные воды содержат повышенные количества кремнекислоты (250 мг/л) и борной кислоты (150 мг/л). Пар насыщен также газами: углекислым – 500 мг/кг, сероводородом – 25 мг/кг, аммиаком – до 15 мг/кг и др.

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 11.3.1.

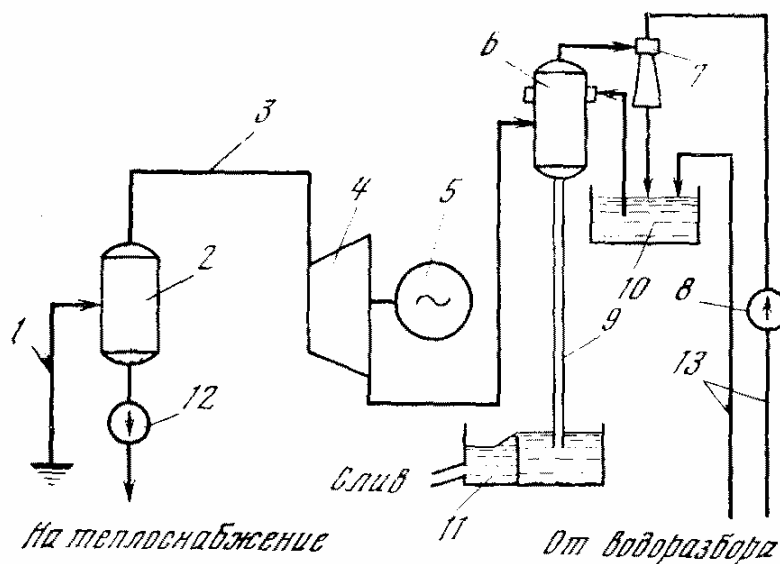


Рис. 11.3.1. Схема Паужетской опытно-промышленной геотермальной электростанции: 1 – скважина; 2 – сепаратор; 3 – паропровод; 4 – турбина; 5 – генератор; 6 – смешивающий конденсатор; 7 – водоструйный эжектор; 8 – эжекторный насос; 9 – барометрическая труба; 10 – бак охлаждающей воды; 11 – сливной колодец; 12 – насос горячей воды; 13 – трубопровод холодной воды

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

электростанции. На станции установлены смешивающие конденсаторы. Поскольку конденсат отработавшего в турбинах пара здесь бесполезен, такие конденсаторы компактнее и требуют меньше охлаждающей воды. Для удаления газов из конденсаторов установлены водоструйные эжекторы с расходом воды 800-900 м³/час.

На ней установлены две турбины типа «МК-2,5» производства Калужского турбинного завода мощностью по 2,5 тыс. кВт каждая. Станция дает ток Озерновскому поселку, рыбокомбинату и близлежащим населенным пунктам.

Литература

1. Дворов И.М. Геотермальная энергетика. – М.: Наука, 1976. – 192 с.
2. Андриященко А.И. Основы термодинамики циклов теплоэнергетических установок: Учеб. пособие для теплоэнергет. спец. вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1985. – 319 с.
3. <http://acre.murdoch.edu.au/ago/> – The Australian Renewable Energy Website.
4. <http://www.mtu-net.ru/lge/> – Лаборатория геотермальной энергетики ЭНИН им.Кржижановского РАО ЕЭС «России».

Содержание

10. Использование геотермальной энергии для выработки тепловой и электрической энергии.	1
10.1. Прямое использование геотермальной энергии	1
10.2. Геотермальные электростанции с бинарным циклом	3
10.3. Схема Паужетской ГеоТЭС	5
Литература	7