

Раздел восьмой

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

8.1. Геотермальные электростанции (ГеоТЭС)

8.1.6. Обзор развития ГеоТЭС и систем теплоснабжения по состоянию на 2014 г.

М.П. Роганков, Э.Э. Микушевич, В.М. Микушевич, ООО «Экополис», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Геотермальные источники давно привлекают к себе внимание, но в силу разных причин, среди которых главным является их привязка к геотермальным источникам, пока занимают сравнительно малую долю производства энергии в балансе всех ВИЭ. По [1] мощности всех ВИЭ (без всех ГЭС) в 2013 г. составили 560 ГВт_э, и только 12 ГВт_э (или 2,1 %) приходится на геотермальные электростанции (ГеоЭС). Привлекательность геотермальных источников обусловлена сравнительно легким извлечением или наличием пароводяной смеси или горячей воды, как бы уже «готовых» к энергетическому использованию.

Промышленное использование геотермальных вод для теплоснабжения в СССР началось в 60-е годы XX века. В 1988 г. их годовая добыча составила 60 млн м³ [2]. Основными регионами использования геотермального тепла в России являются Камчатка, Северный Кавказ, Краснодарский край. Некоторые системы теплоснабжения небольших объектов и населенных пунктов функционируют в настоящее время.

В 1967 г. на Камчатке была построена Паратунская ГеоЭС — первая в мире электростанция на бинарном цикле. Эта инициатива дала толчок развитию ГеоЭС, и сегодня в мире работают сотни бинарных энергоблоков. Развивались ГеоЭС и в России. На Мутновском месторождении в 1999 г. была пущена в эксплуатацию Верхне-Мутновская ГеоЭС мощностью 12 МВт_э (3 блока по 4 МВт), а в 2001 г. — Мутновская ГеоЭС мощностью 50 МВт_э (2 блока по 25 МВт_э). С 1993 на о. Кунашир работает Менделеевская ГеоЭС мощностью 3,6 МВт_э, с модульными блоками «Омега-500», ныне реконструируемая с увеличением мощности до 7,4 МВт_э.

В РФ запроектировано и проектируются еще несколько ГеоЭС и систем теплоснабжения. При самом оптимистическом сценарии развития геотермальной энергетики в обозримом будущем в РФ возможно достигнуть мощностей ГеоЭС 860-870 МВт_э и систем теплоснабжения — 850 МВт_т [2].

В статье использованы материалы из первой редакции раздела 8 по ВИЭ Информационной системы «Наилучшие доступные и перспективные природоохранные технологии в энергетике России» НИУ «МЭИ» (ОИС НДТ в энергетике России <http://osi.ecopower.ru>) 2011 г., подготовленные ОАО ЭНИН [2] и более поздние материалы.

1. ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ТЕХНОЛОГИЯМИ ПРЯМОГО ЦИКЛА

Краткое описание

В технологии прямого цикла с противодавленческими или конденсационными турбинами пар после сепарации в сепараторе пароводяной смеси, получаемой из скважины, направляется в турбину. Принципиальные схемы ГеоЭС прямого цикла представлены на рис. 1 и 2.

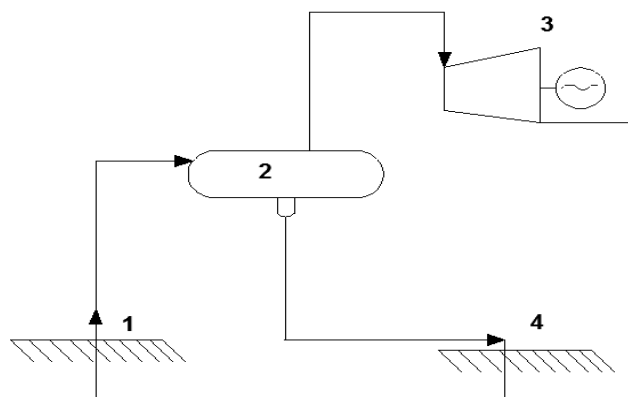


Рис. 1. Схема ГеоТЭС с противодавленческой турбиной
1 – пароводяная смесь из скважины; 2 – сепаратор; 3 – турбина с генератором; 4 – нагнетательная (реинжекционная) скважина

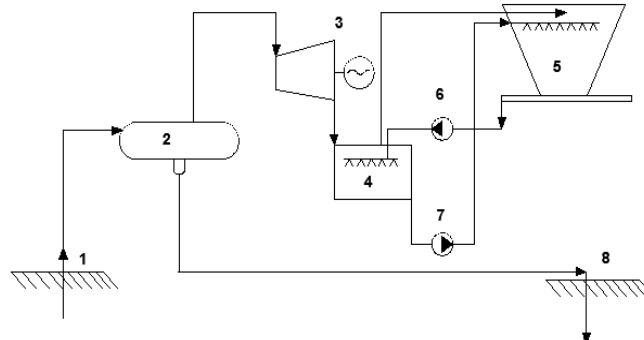


Рис. 2. Схема ГеоТЭС с конденсационной турбиной
1 – пароводяная смесь из скважины; 2 – сепаратор; 3 – турбина с генератором; 4 – смешивающий конденсатор; 5 – башенная градирня; 6 – циркуляционный насос; 7 – конденсатный насос; 8 – реинжекционная скважина.

Типы и мощности энергетического оборудования, на котором рекомендуется или возможно применение рассматриваемой технологии

ОАО «Калужский турбинный завод» предлагает блочные турбинные агрегаты с пароводяными и низкокипящими рабочими телами единичной мощностью 0,5...25,0 МВт для ГеоТЭС прямого и бинарного цикла: К-25-0,6, Туман-2, ГТС-700П и ГТС-700В [4]. Турбины выпускаются как малогабаритные в контейнерном исполнении, так и уникальные – двухпоточные. Параметры турбин:

- номинальная электрическая мощность — 1700...24650 кВт_э;
- номинальная тепловая мощность — 0...2000 кВт_т;
- абсолютное давление сухого насыщенного пара — 0,4...0,9 МПа;
- температура пара — 151 °С;
- давление пара за турбиной — 5,0...130 кПа.

Производители оборудования

ОАО «Калужский турбинный завод» по собственному заявлению является монополистом выпуска в РФ противодавленческих турбин для ГеоЭС. За рубежом их выпускают в Японии, США, Италии (единичная мощ-

ность обычно не превышает 10 МВт).

Диапазон применимости

Диапазон применимости технологии с противоавлапленческими или конденсационными турбинами определяется параметрами пароводяной смеси (давление, температура и содержание в газовой фазе неконденсирующихся газов), производительностью скважин, сроком истощения геопотенциала месторождения, возможностями сепаратора.

Ограничения на применение технологии

Энергоблоки с противоавлапленческими турбинами обычно применяют при очень высоком содержании в газовой фазе неконденсирующихся газов (более 12...15 % по весу), ограничением является ситуация, когда их удаление из конденсатора становится энергетически и экономически невыгодным. Если по геологическим причинам срок эксплуатации геотермального месторождения недостаточен для окупаемости ГеоЭС с конденсационными энергоблоками, то эта ниша открывается для противоавлапленческих турбин.

Достоинства и недостатки

Достоинства:

- общие достоинства, характерные для всех ВИЭ (предотвращение выбросов загрязняющих веществ, кроме H_2S и некоторых других, содержащихся в пароводяной смеси месторождения, практическое отсутствие выбросов парниковых газов, экономия органического топлива, диверсификация источников энергии, имиджевые аспекты и др.);
- удельные капиталовложения на 1 кВт установленной мощности с учетом бурения скважин (1600...2000 долл. США/кВт для блоков с противоавлапленческими турбинами и 2000...2500 долл. США/кВт — с конденсационными) сравнимы с аналогичными показателями для угольных ТЭС;
- все оборудование выпускается российскими заводами;
- низкие эксплуатационные расходы и меньшая себестоимость электроэнергии в сравнении с традиционными ТЭС.

Недостатки:

- удельные капиталовложения на 1 кВт установленной мощности для ГеоЭС с конденсационными турбинами с учетом бурения скважин выше, чем для ТЭС на газе;
- значительные выбросы сероводорода и микровыбросы других загрязняющих веществ с отработанным паром;
- необходимость борьбы с солевыми отложениями.

Объекты внедрения в РФ

Энергоблоки мощностью 3,6 МВт_э с модульными блоками «Омега-500» с противоавлапленческими турбинами эксплуатируются на Менделеевской ГеоЭС (о. Кунашир), ныне реконструируемой с увеличением мощности до 7,4 МВт_э. Такие энергоустановки могут быть рекомендованы и как временные энергоисточники для обеспечения собственных нужд при строительстве более мощных ГеоЭС в районе геотермальных месторождений.

Два энергоблока с конденсационными влажнопаровыми турбинами мощностью по 25 МВт эксплуатируются на Мутновской ГеоЭС. На Верхне-Мутновской опытно-промышленной ГеоЭС работает малый конденсационный модуль Калужского турбинного завода полной заводской готовности «Туман 4к».

Сведения о наличии/отсутствии авторских прав на применяемую технологию, разработчиках и/или правообладателях технологии

В процессе создания и совершенствования оборудования ГеоЭС отдельное оборудование и технологии защищались авторскими правами (имеются патенты ОАО ЭНИН, ОАО Наука и др. организаций).

2. ГЕОТЭС С ТЕХНОЛОГИЯМИ БИНАРНОГО ЦИКЛА И КОМБИНИРОВАННЫЕ

В связи с тем, что в рамках Информационной системы МЭИ представлены доступные в РФ технологии, в настоящем подразделе технологии бинарного и комбинированного цикла описаны информативно, т.к. они пока не получили в РФ промышленного распространения. Настоящий материал базируется на источнике [3].

Технологии бинарного цикла заключаются в организации двух контуров: первый — энергоноситель из источника, второй — энергоноситель с более низкой температурой кипения жидкости (рис.3).

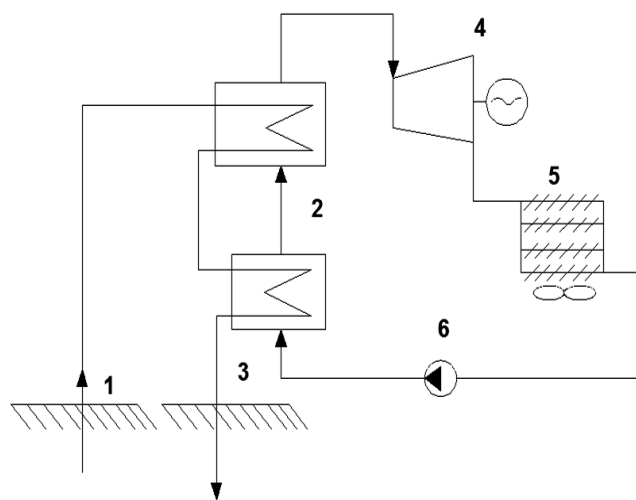


Рис. 3. Схема бинарной ГеоЭС.

1 – подъемная скважина; 2 – теплообменник-парогенератор; 3 – реинжекционная скважина с нагнетательным насосом для рассола; 4 – турбина; 5 – конденсатор; 6 – конденсатный насос.

Бинарная технология позволяет избавиться от такой угрозы, как солеотложения, возникающие при упаривании геотермальных рассолов в схемах с расширителями. В первом контуре после охлаждения до предельной температуры, определяемой условием отсутствия солеотложений, рассол возвращается обратно в пласт. Для увеличения расхода рассола иногда в подъемной скважине применяют погружные насосы, размещаемые на глубине до 200 м, а для обратной закачки практически всегда – нагнетательный насос перед инъекционной скважиной (эта модификация на схеме рис. 3 не показана). В качестве рабочих тел используются хладагенты (пропан, бутан, фреоны, в последнее время рассматривается возможность применения водоаммиачной смеси). Такая схема позволяет использовать в турбине сухой пар, что более эффективно. Из турбины также выходит сухой пар (т.е. получается противоавлапленческая турбина), и в ряде случаев становится целесообразным использовать теплоту этого пара в рекуперативном теплообменнике, устанавливаемом перед конденсатором 5 (на схеме рис. 3 не показан); конденсат подается на вход парогенератора.

Первая в мире геотермальная установка по такой схеме с фреоном-22 в качестве рабочего тела была испытана в середине XX века на Паратунском месторождении

на Камчатке. В настоящее время промышленный выпуск энергомодулей мощностью 0,5...3 МВт с низкокипящими рабочими телами осуществляется фирмой ОРМАТ (Израиль). Общая мощность ГеоТЭС во многих странах с этими энергомодулями превышает 350 МВт. Стоимости энергомодуля этой фирмы — около 1000 долл./кВт установленной мощности. В нашей стране на ОАО «Кировский завод» был спроектирован энергомодуль мощностью 1,5 МВт на озонобезопасном фреоне 42b. Исследования и разработки в этой области продолжаются.

Комбинированная технология позволяет более полно использовать потенциал пароводяной смеси. По паровой турбине имеется как во втором контуре, так и в первом. После подъемной скважины пароводяная смесь подается в сепаратор, откуда пар направляется в противодавленческую паровую турбину. После выхода из турбины пар поступает в конденсатор, являющийся парогенератором низкокипящего рабочего тела; из него пар поступает на турбину второго контура. Теплотехническая схема предусматривает утилизацию в циклах теплоты конденсатов и др. тепловых потоков. Схема особенно эффективна при низких температурах окружающей среды. По оценке [3] на Мутновском месторождении выработка электроэнергии на комбинированной ГеоТЭС увеличится на 20 % по сравнению с ГеоЭС с конденсационным циклом. ОАО «Наука» и ОАО «ЭНИН» получен соответствующий патент.

Оборудование ГеоТЭС комбинированного цикла, выпускаемое израильской фирмой ОРМАТ, установлено на ГеоЭС на Филиппинах и в Индонезии.

В РФ по этой схеме планируется построить 4-й блок Верхне-Мутновской ГеоЭС мощностью 6 МВт.

3. СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛА

Краткое описание

Разнообразие местных условий для организации той или иной системы теплоснабжения, взаимное расположение геотермальных источников и потребителей, разные параметры геотермальной воды и ее состав, потенциал геотермальных источников, характер потребителей тепла и др. условия обуславливают большое количество вариантов систем теплоснабжения и горячего водоснабжения и выбор принципиальной схемы. В нашей стране системы централизованного теплоснабжения, в том числе и дальнего, применяются уже несколько десятков лет, и проблема теплоснабжения от геотермальных источников носит не столько научно-технический характер, сколько прикладной инженерный.

Несколько примеров типов систем теплоснабжения. При значительных геотермальных ресурсах - открытая система, зависящая схема снабжения геотермальной водой; при ограниченных ресурсах - открытая система подачи геотермальной воды для горячего водоснабжения с отоплением от другого источника; при температуре геотермальной воды выше расчетной для отопления - последовательная подача ее на отопление и горячее водоснабжение; при температуре геотермальной воды ниже расчетной для отопления - параллельная или последовательная подача ее на отопление и горячее водоснабжение с пиковым догревом воды на отопление; при ограниченных ресурсах и высокой стоимости добычи и транспортировки геотермальной воды - системы с пиковым догревом и тепловыми насосами и комбинировании системы водяного и воздушного отопления; при равенстве де-

бита геотермальной воды и среднечасового расхода горячего водоснабжения — бессливные системы. В зависимости от химсостава и температуры геотермальной воды эти системы могут быть одноконтурными (без промежуточного теплообменника системы геотермального отопления) и двухконтурными (с промежуточным теплообменником), открытыми и закрытыми, с зависимым и независимым присоединением местного отопления к тепловой сети.

Системы геотермального теплоснабжения включают в себя: водозабор, расположенный на месторождении, первичные тепловые сети геотермальной воды; вторичные тепловые сети (водопроводной воды); пункт сброса отработанной геотермальной воды в водоем или обратной закачки ее в грунт.

С целью защиты элементов теплотой системы от агрессивного воздействия термальных вод применяют защитные покрытия, стойкие материалы, пластмассовые футеровки, коррозионные ингибиторы, антинакипную обработку. Для предотвращения отложений взвешенных веществ и шлама, а также удаления газов скорость теплоносителя в системах должна быть не менее 0,2 м/с. Для срабатывания теплового потенциала предусматривают комплексное использование геотермальных вод в отопительных системах, на технологические нужды, на обогрев культивационных сооружений, в плавательных бассейнах, банно-прачечных комбинатах и т.п. Регулирование теплотребления в системах осуществляется на скважине, в пиковых котельных и насосных установках, в тепловых пунктах, на вводах в здание. Суточную неравномерность потребления термальной воды на горячее водоснабжение выравнивают с помощью баков-аккумуляторов. В геотермальных системах отопления применяют преимущественно отопительные приборы с регулировкой теплоотдачи по воздуху.

Типы и мощности энергетического оборудования, на котором рекомендуется или возможно применение рассматриваемой технологии

В зависимости от запросов потребителей по отоплению и горячему водоснабжению, производительности геотермальных скважин, выбранной принципиальной схемы теплоснабжения и др.

Производители оборудования

Многочисленные отечественные заводы энергетического и вспомогательного оборудования.

Диапазон применимости: от теплоснабжения и горячего водоснабжения нескольких домов до крупных поселков, тепличных хозяйств, бассейнов и т.п.

Ограничения на применение технологии

Ограниченный потенциал геотермального источника, недостаточная температура геотермальной воды, чрезмерная ее минерализация, чрезмерная отдаленность месторождения от потребителей.

Достоинства и недостатки

Достоинства:

- общие достоинства, характерные для всех ВИЭ (минимальные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, парниковых газов, экономия органического топлива, имиджевые аспекты);
- низкие эксплуатационные расходы.

Недостатки:

- относительно низкая энтальпия теплоносителя, снижающая возможность его транспортировки;

- рассредоточенность и отдаленность геотермальных месторождений от потребителей;
- снижение дебита скважины при интенсивной эксплуатации и отсутствии закачки отработанной воды в пласт;
- зарастание скважин и интенсивное накипеобразование в системах при высокой минерализации геотермальных вод;
- интенсивная коррозия металла, трубопроводов и оборудования вследствие насыщенности геотермальных вод агрессивными газами;
- вредное воздействие на окружающую среду сбросных термальных вод.

Объекты внедрения в РФ

Промышленное использование геотермальных вод для теплоснабжения началось в СССР в 60-е годы XX века. В 1988 г. годовая добыча составляла 60 млн м³ [2]. Основными регионами использования являются Северный Кавказ и Камчатка, а основными потребителями - сельскохозяйственные предприятия и жилые поселки. В 1980-е годы площадь теплиц в Краснодарском крае, отапливаемых геотермальным теплом, превышала 70 га. В

Дагестане более 120 организаций использовали тепло от геотермальных источников для обеспечения горячим водоснабжением и отоплением городов и поселков (например, г. Избербаш с населением 25 тыс. чел.). В 1969 г. на Камчатке была создана система теплоснабжения в районе расположения г. Елизово-пос. Паратунка-пос. Термальный, базирующаяся на прямом использовании геотермального тепла. Эксплуатационные запасы горячей воды с температурой 77 °С составляют 23,3 тыс. м³/сутки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. **Renewables** 2014 Global Status Report. REN21. Renewable Energy Policy Networks for the 21st Century. www.ren21.net/Portals.
2. **Перспективы развития** возобновляемых источников энергии в России. Программа Европейского Проекта TACIS для Российской Федерации. М., 2009. Изд. «Атмограф»
3. **В.А. Васильев, Б.В. Тарнижевский**. Раздел 8 «ВИЭ» в ОИС НДТ в энергетике России, 2011 (<http://osi.ecopower.ru>, версия 2011)
4. www.oaoktz.ru