

ЭНЕРГЕТИКА

МРНТИ 44.29

Т.Н.Мендебаев¹

¹Научно-внедренческий центр АЛМАС, г. Алматы, Казахстан

ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. РЕСУРСЫ В КАЗАХСТАНЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИХ ОСВОЕНИЯ

Аннотация. Геотермальные месторождения – наиболее перспективный источник энергии будущего. Как вид энергии, они самой природой приоткрыты к употреблению. В 60 странах мира месторождения промышленно освоены для производства электрической энергии. Их запасы в Казахстане на порядок больше суммарных запасов нефти и газа страны, вместе взятых. В мире существуют 3 схемы освоения термальных вод в качестве энергоисточников, используемые наземными геотермальными энергоустановками. Предложена схема подземной геотермальной установки, состоящая из системы сообщающихся скважин. Ее отличительные особенности: производство электрической энергии в местах залегания термальных вод, конструкция скважин, способы парообразования и передачи энергии на поверхность земли. Расширяются условия использования и технологические возможности энергоустановок, достижения высоких энергетических характеристик.

Ключевые слова: геотермальная установка, геотермальные месторождения, бурение, скважина, парогенератор, вскрытие пласта.

• • •

Түйіндеме. Жер қойнауындағы ыстық су қабаттары – болашақ қуат көзі болып саналады. Қуат ретінде пайдалануға табиғатта дайындалған. Әлемнің 60 елінде олар қуат көздері ретінде өндірісте игерген. Ыстық су көздерінің Қазақстандағы қоры, мұнай және газ қорлары қосындысынан он есе артық. Әлемде ыстық су көздерінен электр қуатын өндірудің 3 сызбасы бар, олар жер бетінде қуат қондырғыларында қолданылады. Өзара қатынастағы ұңғылардан тұратын жерасты қуат қондырғысының сызбасы ұсынылады. Оның жаңалығы – ыстық су көздерінде орналасқан жер қойнауында электр тоғын өндіру, ұңғылардың құрылымы, суды бұға айналдыру және электр тоғын жер бетіне жіберу тәсілдері. Қуат қондырғысының

қолдану аясы және технологиялық мүмкіншіліктері ұлғаяды, жоғарғы қуат көрсеткіштерін алу нәтижелері.

Түйінді сөздер: геотермалдық қондырғы, геотермальдық кен орындарын, бұрғылау, ұңғыма, парогенератор, қабатты ашу.

• • •

Abstract. Geothermal deposits are the most promising source of energy of the future. As a form of energy, they are themselves nature-ready for use. In 60 countries of the world they are industrially developed for the production of electric energy. Reserves of Kazakhstan's geothermal deposits are an order of magnitude larger than the total reserves of the country's oil and gas instead of those taken. In the world there are three schemes for the development of thermal waters as energy sources, terrestrial geothermal power plants. A scheme of an underground geothermal installation consisting of a system of communicating wells is proposed. Its distinctive features are the production of electric energy in the places of occurrence of thermal waters, the design of wells, the methods of vaporization and transfer of energy to the surface of the earth. The conditions of use and technological capabilities of power plants are broadened, and high energy characteristics are achieved.

Key words: geothermal plant, geothermal field, drilling, borehole, steam generator, completion.

Введение. В области энергетики конечный продукт разведки, добычи, транспортировки и переработки – нефти, газа, угля и урана - перегретый пар, который вращает турбины тепловых и атомных электростанций, вырабатывающих электрический ток.

Эффективность освоения геотермальных месторождений для производства электрической энергии в том, что они самой природой созданы готовыми к употреблению.

Очаг их тепла – расплавленная магма в ядре Земли, где температура достигает 4000-6000 °С. Под большим давлением магма по подземным каналам и трещинам достигает каменного пояса Земли, образуя залежи термальных вод. Следовательно, существование геотермальной энергетики связано со скоростью остывания земли, равной, по геологическим расчетам, 300-350 °С в 1 млрд. лет.

Геотермальная энергетика в мире. Сегодня вечная по времени, экологически безопасная и дешевая геотермальная энергия недр Земли стала объектом повышенного интереса в

мире. Энергетический потенциал недр на глубине 10000 м в 50 тыс. раз больше энергии всех мировых запасов нефти и газа. Разведка и эксплуатация геотермальных месторождений для производства электрического тока ведется в 70 странах мира, в 60 странах освоено их промышленное использование [1].

Первая геотермальная электростанция, действующая до сегодняшнего времени, была построена в 1904 г. в Италии. Позже такие электростанции появились в Исландии, Голландии, Дании, Франции, Китае, Мексике, Израиле, России и т.д. Лидирующие позиции в использовании геотермальных источников занимают США, Филиппины, Индонезия, Италия, Новая Зеландия, Япония, Исландия [2].

В США суммарная мощность геотермальных электростанций равняется мощности 5 атомных электростанций. По принятой там стратегической программе геотермальное электричество в перспективе станет ключевым элементом энергетической инфраструктуры Америки.

Ресурсы в Казахстане. Геотермальная энергетика – нетронутая сфера в жизнедеятельности Казахстана, хотя установленные запасы термальных вод в условно-топливном эквиваленте составляют 97,1 млрд. т, что на порядок больше суммарных запасов нефти и газа страны, вместе взятых.

Геологическими изысканиями ранних лет геотермальные месторождения вскрыты разведочными скважинами до глубины 3500 м в Илийском, Сырдарьинском, Иртышском, Прикаспийском, Мангышлак-Устюртском, Шу-Сарыуском и Зайсанском артезианских бассейнах. Распределение их по регионам Казахстана условного топлива, млрд. т: Западный Казахстан – 75,9 (78,2 %); Южный Казахстан – 15,6 (16 %); Центральный Казахстан – 5,3 (5,5 %); Северный Казахстан – 0,3 (0,03 %) и Восточный Казахстан – 0,003 [3].

По геологическим прогнозам, при проведении разведочных работ с бурением скважин до глубины 7000 м запасы геотермальных месторождений могут удвоиться, а то и утроиться. Тогда каковы будут вероятные технологические схемы их освоения в качестве энергоисточников?

Схемы освоения геотермальных месторождений для производства электрического тока. По всему миру в разных вариациях распространены 3 схемы производства электроэнергии с использованием гидротермальных ресурсов: прямая – с использованием сухого пара, непрямая – с преобразованием водяного пара и смешанная схема (бинарный цикл). Тип применяемой схемы зависит от состояния среды (пар или вода) и ее температуры.

Схема геотермальной электростанции с прямым использованием природного пара является наиболее простой и доступной, где ее конструкция представляет собой паротурбинную установку с противодавлением. По этой схеме пар из скважины подается прямо в турбину, с дальнейшим выходом в атмосферу или в устройство, улавливающие ценные химические элементы [4].

По этой схеме в Италии работают несколько наземных геотермальных электростанции общей мощностью 20 тыс. кВт. Аналогичная схема прямого использования сухого пара применяется и на электростанции "Гейзер" в Северной Калифорнии, самой крупной в мире по мощности.

В то же время следует отметить, что большинство модулей геотермальных теплонасосных установок в США построены для охлаждающей нагрузки и в меньшей мере – для нагревающей составляющей – в среднем только 1000 ч в год [2].

Электростанции с непрямым типом производства электроэнергии используют пароводяную смесь или горячие подземные воды температурой до 182 °С, которые закачиваются при высоком давлении в генераторные установки на поверхности. По этой схеме построена Паужетская геотермальная электростанция на Камчатке (Россия). Общая минерализация воды – 1-3,4 г/л, температура на устье скважин – 144-200 °С, давление – 2-4 атм, мощность – 12 МВт [2].

Геотермальные электростанции со смешанной (бинарной) схемой производства отличаются тем, что пар и вода никогда не вступают в непосредственный контакт с турбиной генератора. На электростанциях с бинарным циклом производства используется дополнительная жидкость с более низкой точкой кипения

ния, чем у воды. Горячая геотермальная вода и дополнительная жидкость пропускаются через теплообменник. Тепло геотермальной воды выпаривает вторую жидкость, пары которой приводят в действие турбины. Совершенствованием бинарного цикла является цикл Калины, где в качестве дополнительной жидкости используется двухкомпонентная водно-аммиачная смесь, имеющая разные критические температуры.

Существует еще и цикл Ренкина, в соответствии с которым используется смесь органических жидкостей с различными температурами кипения. Первая в Европе геотермальная установка с бинарным циклом Калины появилась в Исландии, она позволяет использовать и холодную воду.

Метод hot-dry-rock (HDR) предложен американскими учеными в 70-е гг. прошлого века. Основой метода является известное явление: по мере углубления в недра Земли температура растет примерно на 3 градуса каждые 100 м. С поверхности земли бурят несколько глубоких скважин с таким расчетом, чтобы через одни – закачивать в пласты горячих горных пород воду, через другие – выводить образовавшийся пар, направляемый в турбину для производства электрической энергии [5]. Сегодня метод проходит производственные испытания в Эльзасе (Франция), где запущена геотермальная электростанция мощностью 25 МВт.

Конструкция подземной геотермальной энергоустановки, предложенная казахстанскими учеными, содержит входную и выходную скважины, соединенные поперечными штреками на разных уровнях пласта горячих горных пород в вертикальной плоскости, где поперечные штреки выполнены с промежуточным внутренним уступом, большим диаметром со стороны входной скважины и меньшим диаметром, выходящими в выходную скважину. Причем часть поперечного штрека с большим диаметром заполнена наполнителем, представляющим собой куски графита, а другая часть с меньшим диаметром закреплена трубами. Сама паровая турбина размещена в выходной скважине над пластом горячих горных пород и снизу дополнительно снабжена сепаратором, имеющим изолированный выход на поверхность земли [6,7].

Практика эксплуатации геотермальных электростанций в мире показывает, что базовый принцип выбора технологических схем их освоения обусловлен глубиной их залегания, естественными запасами, состоянием источников в виде пара, пароводяной смеси и горячей воды, значением их характеристик, выражающихся через температуру, давление и степень минерализации.

К примеру, при вскрытии месторождения сухого, чистого пара без примесей очень эффективна схема прямого использования, поскольку пар перед поступлением в турбину практически не теряет температуру и давление. Однако эффективность схемы ограничивается глубиной скважин до 1500 м, глубже которой по имеющейся практике, начинают сказываться потери мощности и температуры пара во время транспортировки.

То же самое относится и к степени минерализации источников. Если для выработки электроэнергии геотермальной энергоустановкой с прямым пароводяным циклом допустима минерализация горячей воды находится в пределах 15 г/л, то в геотермальной установке с применением низкокипящих веществ данный показатель допустимой минерализации может достигать и 300 г/л. На принцип выбора схем освоения повлияют наличие или отсутствие пластового давления в недрах Земли. Исходя из базовых принципов выбора технологических схем освоения геотермальных источников для производства электрической энергии, приведены характеристики высокотермальных, напорных артезианских бассейнов на территории Казахстана (таблица).

Наиболее привлекательными для производства электрического тока представляются низкоминерализованные воды Илийского и Сырдарьинского артезианских бассейнов, где с дополнительным подогревом воды возможно применение схем прямого использования пара и непрямого – пароводяной смеси.

Выше было сказано, что все существующие в мире геотермальные энергостанции наземные, куда из скважины поступает горячая вода или пар. Однако в зависимости от глубины скважины до 30-35 % их исходной мощности теряется при транспортировке, что снижает рабочие показатели энергоустановки.

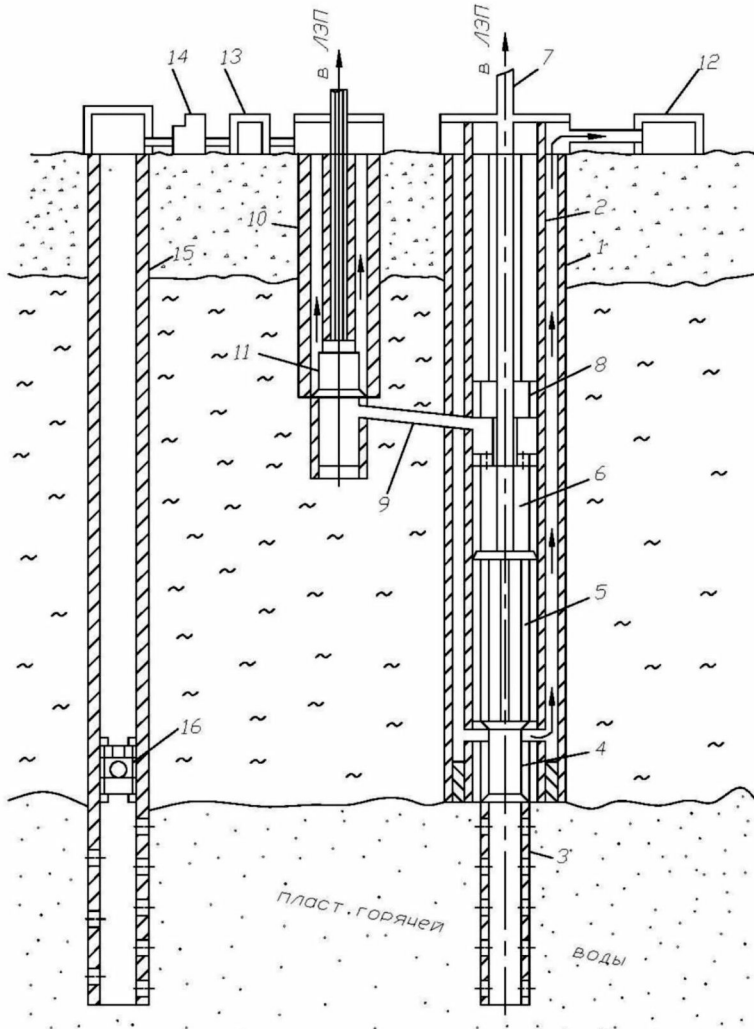
Характеристики высокотермальных, напорных артезианских бассейнов представляющих промышленный интерес для производства электрической энергии

Артезианский бассейн	Глубина залегания, м	Температура на устье скважины, °С	Общая минерализация, г/л	Естественные запасы в переводе на условное топливо, млрд. т
Илийский	650-2600	40-120	0,8-1,5-14	1,43
Сырдарьинский	300-2000	40-100	1,0-2,0	18,8
Шу-Сарыусукий	100-2000	40-60	до 5,0	0,27
Прикаспий	500-2500	42-120	3,0-320	35
Мангыстау-Устюртский	70-2400	50-150	1,0-195	3,9

В целях повышения эффективности освоения геотермальных месторождений в качестве источников энергии, обеспечения экологической безопасности для окружающей среды предложена технологическая схема подземной геотермальной энергоустановки, состоящая из системы сообщающихся скважин.

Подземная геотермальная энергоустановка. На рисунке приведена принципиальная схема подземной геотермальной установки. Ее отличительные особенности от всех известных энергоустановок - возможность производства электрической энергии на глубине в районе залегания термальных источников, т. е. без потери исходной мощности, передача энергии в ЛЭП на поверхность земли по кабелям, конструкция скважин и их оснащение.

Конструкция подземной геотермальной установки состоит из основной подъемной скважины, закрепленной внешней колонной обсадных труб 1, внутри которой концентрично расположена эксплуатационная колонка труб 2, имеющая в нижнем окончании фильтровую часть 3, размещенную в пласте горячей воды. Выше нее расположен сепаратор 4 для отделения газа от воды, графитовые стержни 5, парогенератор 6 с кабелем 7, пакер 8, составляющие звенья единой съемно-извлекаемой цепи для



Технологическая схема подземной геотермальной энергоустановки:
 1 – внешняя колонна труб; 2 – эксплуатационная колонна труб; 3 – фильтровая часть; 4 – сепаратор; 5 – графитовые стержни; 6 – парогенератор; 7 – кабель; 8 – пакер; 9 – боковой ствол; 10 – дополнительная подъемная скважина; 11 – парогенератор; 12 – газохранилище; 13 – отстойник; 14 – насос; 15 – нагнетательная скважина; 16 – обратный клапан

производства электрического тока. Между парогенератором 6 и пакером 8 полость внутренней колонны труб 2 посредством закрепленного бокового ствола 9 сообщается с полостью дополнительной подъемной скважиной 10, где установлен генератор 11. Наземные элементы подземной геотермальной установки – газохранилище 12, отстойник 13, насос 14 для перекачивания воды по нагнетательной скважине 15 с обратным клапаном 16 в пласт горячей воды, образованием замкнутого цикла.

При производстве электрической энергии пар или горячая вода через фильтровую колонну 3 поступает в сепаратор 4, где идет процесс отделения газа от воды. Затем газ по кольцевому зазору между колоннами труб 1 и 2 поступает в газохранилище 12. Освободившиеся от газа пар или горячая вода, поднимаясь вверх, протекают сквозь графитовые стержни 5 с дополнительным подогревом. В результате образуется перегретый пар, который вращает турбины парогенератора 6, вырабатывая электрический ток, передаваемый по кабелю 7 в ЛЭП. Далее пар через боковой ствол 9 ниже пакера 8 поступает в полость дополнительной подъемной скважины 10, вращает парогенератор 11, с передачей электрического тока через кабель в ЛЭП. От дополнительной подъемной скважины 10 отработавший пар поступает в отстойник 13, переходом в состояние воды и насосом 14 по нагнетательной скважине 15 через обратный клапан 16 перекачивается в пласт горячей воды.

Геотермальная энергетика экологически безопасна. В работе приведены конкретные цифры, если ежегодное использование геотермальной энергии 7800 ГВт/ч сравнить с производством тепловой энергии станциями, использующими топливную нефть с эффективностью 30 %, то экономия составит 15,4 млн. баррелей нефти. Это исключит выброс примерно 7 млн.т CO₂ [8].

Выводы

При сегодняшнем уровне развития техники и технологии бурения скважин сооружение и оснащение подземной геотермальной энергоустановки несложно в исполнении. По условиям использования и технологическим возможностям она независима от глубины скважин, и наоборот, создает предпосылки для

выхода на глубокие горизонты недр земли с высоким энергетическим потенциалом.

В деле освоения геотермальных месторождений в качестве энергоисточников, на наш взгляд, особенно важно установление их связи с тектоническими каналами и трещинами, подпитывающими их теплом, идущим из глубины недр Земли. Зная место расположения каналов, технически осуществимо провести работы по их расширению и углублению, добиваясь увеличения притока тепла, что может привести к резкому росту энергетического потенциала геотермальных источников.

Наша страна, обладая огромным ресурсом месторождений подземных термальных вод, имеет все возможности для перевода экономики на дешевый источник энергии со снижением техногенных нагрузок на окружающую среду, на недра и почву Земли.

Стоимость электроэнергии, производимой на современных геотермальных электростанциях, в среднем на 30 % меньше, чем на ветровых электростанциях и в 10 раз ниже, чем на солнечных электростанциях.

Список литературы

1 Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. – М.: Физматлит, 2008. – 376 с.

2 Boyd T.L. The United States of America Country Update // Proceedings World Geothermal Congress. Melbourne, Australia, International Geothermal Association, 2015. – P. 12.

3 Гарипов М.Г., Гарипов В.М. Геотермальная энергетика // Вестн. Казан. технолог. ун-та. – 2014. – № 14, т.17.

4 Шпик А.А., Ефромочкин Н.В., Боревский Л.В. Поиски, разведка и оценка прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов теплоэнергетических вод. – М.: Недра, 1989.

5 Имамутдинов И., Медовников Д. Неторопливые киловатты Земли // Наука и технологии. – 2004. – № 29.

6 Геотермальная энергоустановка // Патент США 6301894ВА, кл. 7F03G7/00, 2000.

7 Геотермальная энергоустановка // Евразийский патент №018364. Оpubл. 2013.07.30.

8 Lund J.W., T.L. Boyd. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review / J.W. Lund, Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, Klamath Falls, OR 97601, USA. Proceedings World Geothermal Congress. Melbourne, Australia. 19-25 April 2015.

Мендебеев Т.Н., доктор технических наук, заслуженный изобретатель Казахстана, e-mail: nvc_almas@mail.ru