

М. Г. Гарипов, В. М. Гарипов

## ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

*Ключевые слова: тепло, Земля, энергия.*

*Выполнен обзор различных видов и способов использования геотермальной энергии. Дана классификация источников геотермальной энергии. Проанализированы плюсы и минусы геотермальной энергетики. Показана перспективность использования энергии геотермальных источников.*

*Keywords: heat, the earth energy.*

*A review of the various types and methods of use of geothermal energy. A classification of geothermal energy. Analyzed the pros and cons of geothermal energy. The prospects of using geothermal energy.*

Применение альтернативных возобновляемых источников энергии (ветровой, солнечной, геотермальной, морских приливов и т.д.) весьма актуально [1-5]. Объясняется это тем, что, во-первых, производство энергии за счёт сжигания ископаемых видов топлива на тепловых электростанциях вредно воздействует на природу, во-вторых, запасы такого топлива ограничены.

Геотермальные источники известны с древних времён. Например, знаменитые древнеримские бани (термы Каракаллы) отапливались теплом подземных источников. Первая электростанция, основанная на использовании горячих подземных источников, была построена в 1904 году в итальянском городке Лардерелло (провинция Тоскана). В США первая электростанция, использующая гидротермальную энергию, возникла в Калифорнии в начале 1930-ых годов, а в России – в 1965-м году.

Наиболее вероятные источники земного тепла: исходное тепло Земли; энергия экзотермических физико-химических процессов; энергия распада радиоактивных элементов; энергия сейсмических волн; энергия вращения Земли; тепло, выделяющееся при сжатии нижележащих слоёв под давлением вышележащих; энергия метеоритов.

Температура Земли с глубиной увеличивается в среднем на 1К через каждые 30 м. На глубине 3км должна кипеть вода, на одиннадцатом километре плавится свинец (327°C), на двадцатом – алюминий (659°C), а на глубине 60км температура достигает 1800°C, и плавится платина (1773°C). Удельный тепловой поток изнутри Земли к её поверхности около 0,05Вт/м<sup>2</sup>. Полный тепловой поток изнутри земли примерно 26ТВт. Это в десять раз больше энергии, которую можно извлечь из всех предполагаемых запасов угля, нефти и природного газа. Однако поток энергии солнечного излучения, принимаемый Землёй, приблизительно в 8300 раз больше теплового потока изнутри Земли к её поверхности. Геотермическая ступень – глубина, соответствующая повышению температуры горных пород в земной коре на 1 К. Обычно геотермическая ступень составляет 30-33м. Но в некоторых местах у поверхности Земли (например, вблизи вулканических очагов)

геотермическая ступень равна всего 2-3м, а в экстремальных условиях – даже 0.5м.

Источники геотермической энергии по классификации Международного энергетического агентства делятся на пять типов.

1. Месторождения геотермального сухого пара. Они легко разрабатываются, но редки. Половина действующих в мире ГеоТЭС использует тепло этих источников.

2. Источники влажного пара (смеси пара и горячей воды). Они встречаются чаще. При их освоении решают вопросы предотвращения коррозии оборудования и загрязнения окружающей среды (удаление конденсата из-за его засолённости).

3. Месторождения геотермальной воды (содержат горячую воду или пар и воду). Это полости с водой атмосферных осадков, нагреваемые близлежащей магмой.

4. Сухие горячие скальные породы, разогретые магмой (на глубине 2км и более). Запасы их энергии наиболее велики.

5. Магмы (нагретые до 1300°C расплавленные горные породы).

Водой насыщены все гранитные осадочные породы земной коры, и, возможно, и верхней части мантии. В жидком виде вода пребывает до глубин 10-15км., а ниже при температуре 700°C и более вода находится в парообразном состоянии. В любой точке земной поверхности на определённой глубине имеются пласты горных пород, содержащие термальные воды (гидротермы). Гидротермальная оболочка прослеживается по всему земному шару на разных глубинах. В районах вулканизма гидротермальная оболочка иногда выходит на земную поверхность. Здесь можно найти не только гейзеры, но и парогазовые струи с температурой 180-200 °C и выше.

По температуре теплоносителя геотермальные источники делятся на эпитеермальные, мезотермальные и гипотермальные. В эпитеермальных источниках, расположенных в верхних слоях осадочных пород, куда проникают грунтовые воды, температура воды 50-90°C. Температура воды в мезотермальных источниках 100-200°C. В гипотермальных источниках, практически не зависящих от почвенных вод, температура в верхних слоях превышает 200 °C.

Перегретая вода в виде струй пара выделяется из остывающего магматического расплава вместе с легколетучими веществами и газами, проникая в верхние, более холодные пласты горных пород. Уже при температурах 375-425°C пар может сконденсироваться; в конденсате растворяется большинство летучих компонентов, так появляется ювенильный (первозданный) гидротерм.

Источниками инфильтрационных гидротермов являются атмосферные осадки и грунтовые воды. По трещинам и порам горных пород они инфильтруются в более глубокие пласты, растворяя различные соли и газы и нагреваясь от горных пород. Инфильтрационные воды становятся термальными (температура более 37 °С) на глубине 800-1000м. При быстром подъёме воды через скважину глубиной 3-4 тысячи м можно получить гидротерм с температурой 100 °С.

Вулканические гидротермы в подавляющем большинстве случаев являются инфильтрационными. К ним относятся гейзеры, грязевые грифоны и котлы, паровые струи и газовые фумаролы. Общая минерализация вулканических гидротермов колеблется от ультрапресных категорий (менее 0,1г/л) до категорий сверхкрепких рассолов (более 600г/л). В них растворены активные газы (углекислый газ, сероводород, атомарный водород) и малоактивные газы (азот, метан, водород). Перегретые воды применяют для производства электроэнергии, пресные воды – в коммунальном теплообеспечении, малосольные воды – в бальнеологии, рассолы – как промышленное сырьё.

Геотермальное тепло можно использовать как для обогрева жилых и производственных помещений и теплиц, так и для выработки электроэнергии. В настоящее время наиболее широко распространено прямое применение геотермального тепла, особенно в сейсмоактивных зонах (Япония, Исландия, Камчатка).

Разработаны три основные схемы производства электроэнергии из гидротермальных источников: 1) прямая схема (используется сухой пар); 2) непрямая схема (применяется насыщенный водяной пар); 3) смешанная схема (используется бинарный цикл).

По прямой схеме через турбину пропускается пар, поступающий из глубинной скважины. В настоящее время наиболее распространены геотермальные электростанции, работающие по непрямой схеме. При смешанной схеме сильно разогретые подземные воды или пар подаются в теплообменник, в котором образуется пар, вращающий турбину. Отработанная вода закачивается в скважину, тепло направляется в магистральную теплотель, электроэнергия – в электросеть.

Пригодные к эксплуатации геотермические источники чаще встречаются в регионах вулканической деятельности. К ним относится «Огненный круг» (западная часть Южной Америки, Анды, почти вся Центральная Америка, большая

часть Запада Соединенных Штатов и Скалистые горы, Алеутские острова, Камчатка, Япония, Тайвань, Индонезия, Филиппины, Новая Зеландия, многие острова в южной части Тихого океана). В восточной Африке геотермическая активность наблюдается в Эфиопии, Кении, Уганде, Танзании и Заире. В Азии горячие источники расположены в Непале, Индии, Афганистане, Иране, Турции и простираются до Греции и Италии. Многие другие страны и регионы хотя и не имеют горячих источников, но располагают геотермическими источниками. Лидирующие позиции в использовании геотермальных источников занимают США, Филиппины, Индонезия, Италия, Новая Зеландия, Япония, Исландия. В Исландии 99% энергетических потребностей покрываются за счёт геотермальных источников.

В России ещё до Великой Отечественной войны тепло термальных вод использовалось в Краснодарском крае, Чечне и Дагестане. Первые геотермальные электростанции в России (Паужетская и Паратунская) были построены на Камчатке в 1965-1967 годах. Паратунская ГеоЭС мощностью 600кВт - первая в мире станция с бинарным циклом. Мощность Паужетской ГеоЭС-12МВт. Также на Камчатке введены в эксплуатацию Верхне-Мутновская ГеоЭС мощностью 12МВт (1999 год) и Мутновская ГеоЭС мощностью 50МВт (2002 год). Однако доля геотермальной энергии в общем энергобалансе России пока ничтожно мала.

Геотермальная электростанция с непосредственным использованием природного пара является самой простой, доступной и дешевой. На этой станции пар из скважины поступает прямо в турбину с последующим выходом в атмосферу или устройство, улавливающее ценные химические компоненты.

Наиболее современная схема получения электроэнергии применяется на геотермальных станциях с конденсационной турбиной и прямым использованием природного пара. Пар из скважины поступает в турбину, а затем в смесительный конденсатор. Далее смесь охлаждающей воды и конденсата пара поступает в подземный бак, а затем, после охлаждения в градирне, возвращается в конденсатор. Расход пара на работающей по этой схеме электростанции в Лаго (Италия) составляет 8кг/кВт\*ч.

На геотермальных электростанциях с бинарным циклом природный пар из скважины подаётся в паропреобразователь, в котором испаряет вторичный теплоноситель. Вторичный пар поступает в конденсационную турбину. Отработанный пар конденсируется в конденсаторе. Неконденсирующиеся газы или выбрасываются в атмосферу, или направляются в химзаводы. Удельный расход пара на станции Лардерелло – 2 (Италия) – 14кг/кВт\*ч.

После изобретения в 1852году теплового насоса английским физиком Уильямом Томпсоном (лорд Кельвин) появилась возможность использования низкопотенциального тепла верхних слоёв грунта. Тепловой насос основан на передаче

тепла от окружающей среды к хладагенту, имеющему температуру кипения ниже 0°C. Охлажденный теплоноситель проходит через трубопровод, закопанный в землю, и нагревается на несколько градусов. Затем в испарителе теплового насоса он отдает тепло жидкому хладагенту, который испаряется. Далее пары хладагента сжимаются в компрессоре до высокого давления и высокой температуры. Затем горячие пары хладагента конденсируются в конденсаторе, отдавая тепло воде из системы отопления дома. Далее жидкий хладагент проходит через дроссельный вентиль, его давление понижается, и он снова поступает в испаритель. Таким образом, в контуре теплового насоса циркулирует хладагент, в одном из внешних контуров перемещается теплоноситель (через подземную трубу), а в другом внешнем контуре вода проходит через отопительные приборы.

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

Геотермальная энергетика имеет ряд достоинств: практическая неисчерпаемость и независимость от условий окружающей среды, времени суток и года; возможность использования геотермальной воды или смеси воды и пара для горячего водоснабжения, теплоснабжения или производства электроэнергии; обеспечение устойчивого тепло – или электроснабжения в тех регионах, в которых централизованное энергоснабжение отсутствует; отсутствие котельного оборудования и затрат на топливо; возможность применения энергоносителя низкого давления; несложность управления; снижение вредных выбросов в регионах со сложной экологической обстановкой.

Однако геотермальная энергетика не лишена недостатков: высокая минерализация термальных вод; необходимость обратной закачки отработанной воды в подземный водоносный горизонт; разрушение почвенно-растительного покрова при бурении скважин; вероятность

инициирования микроземлетрясений при гидравлическом разрыве пласта; сильный шум при расширении пара в испарителях; тепловое загрязнение атмосферы; нередко высокое содержание токсичных веществ (мышьяк, ртуть, радон, сульфид серы, аммиак и т. д.); коррозионное разрушение конструкций ГеоЭС. При более масштабном развитии геотермальной энергетики экологические риски могут увеличиться. Один из основных способов снижения негативных последствий – использование циркуляционных систем, в которых отработанные воды закачиваются обратно в водоносный пласт. Однако при этом расходуется электроэнергия, а твердые отложения в трубопроводах и скважинах сокращают срок их службы.

Таким образом, отрицательное влияние геотермальной энергетики на природу и человека незначительно. Тепло Земли можно использовать как для теплоснабжения, так и электроснабжения. Геотермальная энергетика с учетом её экономической эффективности имеет хорошие перспективы дальнейшего развития.

## Литература

1. Саликеева С.Н., Галеева Ф.Т. Обзор методов получения альтернативной энергии. Вестник Казан. технол. ун-та, т.15, №8, 57-59 (2012).
2. Гарипов М.Г. Ветроэнергетика. Вестник Казан. технол. ун-та, т.16, №2, 64-65 (2013).
3. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. - М.: Физматлит, 2008. - 376 с.
4. Череманский Г.А. Прикладная геотермия. - Л.: Недра, 1977.-244 с.
5. Дворов И.М. Геотермальная энергетика. - М: Наука, 1976.-192 с.

---

© **М. Г. Гарипов** – кандидат технических наук, доцент кафедры ПАХТ НХТИ КНИТУ, [eldargaleev@inbox.ru](mailto:eldargaleev@inbox.ru); **В. М. Гарипов** – преподаватель ГОУ СПО «Нижнекамский нефтехимический колледж».

© **M. G. Garipov** – Candidate of Technical Sciences, the associate professor NCHTI "KNRTU", [eldargaleev@inbox.ru](mailto:eldargaleev@inbox.ru); **V. M. Garipov** – the teacher of Public Educational Institution of Secondary Vocational Education Nizhnekamsk Petrochemical College.