

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/м². 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 засоленности). 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 °C) на глубине 800-1000м. При быстром подъёме воды через скважину глубиной 3-4 тысячи м можно получить гидротерм с температурой 100 °C. 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 теплотрассу, 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 клапан, 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 твёрдые 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.