

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НОВЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

КОМБИНИРОВАННАЯ СОЛНЕЧНО-ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

© 2021 г. А. Б. Алхасов^а, *, Д. А. Алхасова^а, М. Г. Дибиров^а

^аИнститут проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал Объединенного института
высоких температур РАН, просп. И. Шамиля, д. 39а, г. Махачкала, 367030 Россия

*e-mail: alibek_alhasov@mail.ru

Поступила в редакцию 14.09.2020 г.

После доработки 05.10.2020 г.

Принята к публикации 21.10.2020 г.

Исследованы процессы охлаждения горной породы при съеме с нее тепла скважинным теплообменником и восстановления теплового поля в породе во время простоя скважины. Тепло в горной породе за летний период простоя скважины частично восстанавливается вследствие притока тепла от пород вне зоны охлаждения. Радиус фронта охлаждения горной породы вокруг скважины за отопительный период может достигать 6–8 м. Температура на стенке скважины за месяц восстанавливается примерно на 50%, а за летний сезон – на 80–85%. Предложена комбинированная технология по отбору тепловой энергии из верхних слоев земной коры и ее аккумулярованию в них, включающая в себя скважинный теплообменник неглубокого заложения, тепловой насос и солнечные коллекторы. Технологией предусмотрены как отбор тепла с горной породы в отопительный период и передача его в систему отопления с тепловым насосом, так и восстановление в межотопительный период температурного поля вокруг скважины путем аккумуляции в горной породе тепла, которое поступает в скважинный теплообменник с горячей водой из бака-аккумулятора. Комбинированная солнечно-геотермальная система реализована на полигоне Объединенного института высоких температур в г. Махачкала для тепло- и горячего водоснабжения дома коттеджного типа. Основные узлы системы – это солнечные коллекторы общей площадью 20 м², теплоизолированный бак-аккумулятор горячей воды со встроенным теплообменником, тепловой насос мощностью 15 кВт и скважина-теплообменник глубиной 100 м. Результаты испытаний показали высокую эффективность системы для теплоснабжения децентрализованных потребителей небольшой мощности.

Ключевые слова: низкопотенциальное тепло, теплопередача, тепловой насос, солнечный коллектор, скважина, теплообменник, промежуточный теплоноситель, горная порода, возобновляемые источники энергии

DOI: 10.1134/S0040363621050027

Низкопотенциальное тепло земного грунта – это повсеместно доступный и экологически чистый источник тепла, который довольно широко используется во многих развитых странах мира в технологиях теплонасосных систем теплоснабжения (ТСТ). Для отбора такого тепла применяются грунтовые теплообменники [1–5].

Для успешной реализации ТСТ с грунтовыми теплообменниками необходимо разработать оптимальные конструкции теплообменников, исследовать вопросы взаимного влияния теплового насоса (ТН) и грунтового теплообменника и оптимизировать режимы эксплуатации всей установки. Теплообменники могут располагаться в грунте как горизонтально (на глубине до 3 м), так и вертикально (скважинные теплообменники). Наиболее эффективен вертикальный грунтовый теплообменник. В качестве такового может слу-

жить вертикальная скважина (рис. 1), внутрь которой помещена дополнительная теплоизолированная труба меньшего диаметра. Промежуточный теплоноситель (вода) опускается по межтрубному кольцевому пространству теплообменника и отбирает тепло с окружающей горной породы, а далее в нагретом состоянии поднимается по внутренней трубе.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТБОРА ТЕПЛА С ГОРНОЙ ПОРОДЫ СКВАЖИНЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ

Циркуляция промежуточного теплоносителя в грунтовом теплообменнике влияет на тепловое поле вокруг скважины. Диаметр зоны возмущения температурного поля зависит от диаметра скважины, интенсивности и длительности работы грунтового теплообменника, температуры и

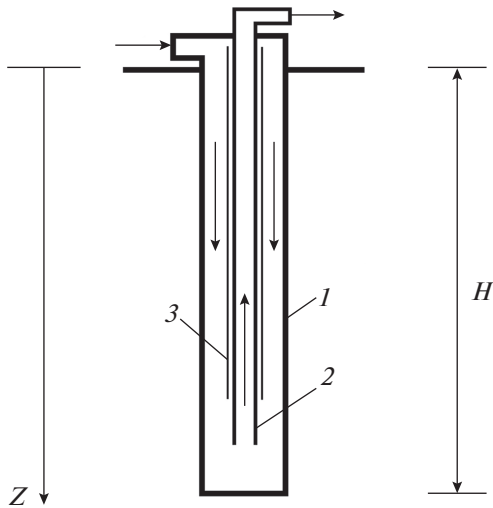


Рис. 1. Вертикальный грунтовой теплообменник. 1 — наружная колонна труб; 2 — лифтовая колонна труб; 3 — теплоизоляция; H — глубина теплообменника, м; Z — вертикальная координата, м

теплофизических свойств пород и промежуточного теплоносителя.

Процесс теплопередачи в вертикальном грунтовом теплообменнике описывается уравнением

$$\frac{dt_1}{dZ} = \frac{k}{Gc_p} (t_0 + \Gamma Z - t_1) \quad (1)$$

при граничном условии

$$t_1(Z = 0) = t_n,$$

где t_1 — температура промежуточного теплоносителя, °С; Z — вертикальная координата, м; k — линейный коэффициент теплопередачи от горной породы к промежуточному теплоносителю, Вт/(м · К); G — массовый расход промежуточного теплоносителя, кг/с; c_p — теплоемкость промежуточного теплоносителя, Дж/(кг · К); t_0 — температура нейтрального слоя, °С; Γ — геотермический градиент, °С/м; t_n — температура промежуточного теплоносителя на входе в теплообменник.

Решая (1), можно получить окончательную формулу для изменения температуры промежуточного теплоносителя по глубине грунтового теплообменника:

$$t_1 = t_0 + \Gamma Z - \frac{\Gamma Gc_p}{k} + \left(t_n - t_0 + \frac{\Gamma Gc_p}{k} \right) \exp\left(\frac{kZ}{Gc_p} \right).$$

Циркуляция промежуточного теплоносителя в вертикальном грунтовом теплообменнике влияет на тепловое поле вокруг скважины из-за разности температур между промежуточным теплоносителем

и породами, через которые проходит скважина. Диаметр зоны нарушения термического режима зависит от диаметра скважины, интенсивности и длительности работы грунтового теплообменника, а также от температуры и теплофизических свойств пород и промежуточного теплоносителя.

Теоретически при циркуляции промежуточного теплоносителя температура пород должна изменяться на бесконечно большом расстоянии от скважины. Однако практически всегда в пласте можно установить границу, за пределами которой он сохраняет свою естественную температуру.

Эффективный радиус круга R , внутри которого температура пород вокруг скважины отклонена от естественного распределения, можно найти, решив уравнение теплопроводности. В представленном случае, когда радиус возмущения много меньше глубины скважины, можно рассмотреть радиальную задачу, подробное решение которой приведено в ранее опубликованной работе авторов [6]:

$$R = 2.405\sqrt{a\tau},$$

где a — температуропроводность пород, м²/с; τ — время эксплуатации скважины, с.

Тогда линейный коэффициент теплопередачи можно определить по формуле

$$k = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda_n} \ln \frac{2R}{d_3} + \frac{1}{2\lambda_{\text{г}}} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2\lambda_m} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha d_1}},$$

где d_3 — диаметр скважины по буровому долоту, м; d_2, d_1 — наружный и внутренний диаметры наружной колонны труб; $\lambda_n, \lambda_{\text{г}}$ и λ_m — коэффициент теплопроводности горной породы, цементного кольца и металла соответственно, Вт/(м · К); α — коэффициент теплоотдачи от внутренней стенки наружной колонны труб к промежуточному теплоносителю, Вт/(м² · К).

В процессе эксплуатации теплообменника эффективность съема тепла с горной породы снижается, что связано с постепенным увеличением эффективного радиуса R и снижением коэффициента теплопередачи k . Теплообменник глубиной 100 м, находящийся в эксплуатации в течение нескольких суток, по отбираемому теплу практически равнозначен теплообменнику глубиной 200 м, который непрерывно эксплуатируется в течение всего отопительного сезона. Расчеты показывают, что оптимальный расход промежуточного теплоносителя составляет 0.5–0.6 кг/с (рис. 2). Дальнейшее увеличение расхода практически не приводит к увеличению теплосъема с горной породы.

Извлекаемая из грунтового теплообменника тепловая энергия линейно зависит от глубины теплообменника (рис. 3). При этом удельный съем тепла q с горной породы на каждый метр глубины теплообменника составляет $q = 33$ Вт/м для

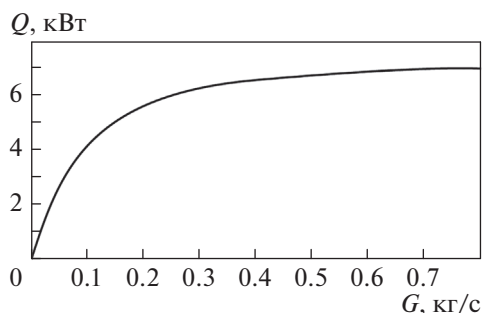


Рис. 2. Зависимость теплосъема Q грунтового теплообменника от массового расхода теплоносителя G

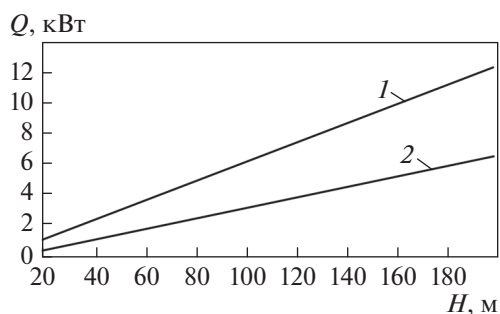


Рис. 3. Зависимость теплосъема Q от глубины теплообменника H при $G = 0.5$ кг/с и времени эксплуатации скважины 1 сут (1) и 150 сут (2)

теплообменника глубиной 200 м, эксплуатируемого в течение 150 сут, и $q = 60$ Вт/м при глубине теплообменника 100 м и его эксплуатации в течение 1 сут.

Из полученных данных следует, что оптимальным может стать ТСТ с двумя грунтовыми теплообменниками неглубокого залегания в вертикальных скважинах, которые попеременно работают в циклическом режиме (одна скважина работает в течение 1–2 сут, другая находится в простое для восстановления температурного поля вокруг нее).

Необходимость в частом переключении циркуляционного потока от одной скважины к другой – это существенный недостаток ТСТ с двумя скважинами. В то же время капитальные затраты на устройство ТСТ с одной глубокой скважиной (200 м) превышают суммарные затраты на устройство двух скважин глубиной 100 м каждая. Кроме того, и эксплуатационные затраты, связанные с прокачкой теплоносителя, в глубокой скважине выше в силу увеличения в 2 раза потерь напора на трение по высоте теплообменника.

Исследования процесса охлаждения горной породы при съеме с нее тепла скважинным теплообменником и восстановления теплового поля в породе во время простоя скважины в межотопительный период подтвердили, что температурное

поле в горной породе за летний период простоя скважины восстанавливается лишь частично притоком тепла от пород вне зоны охлаждения [7, 8]. Радиус фронта охлаждения за отопительный период может достигать 6–8 м. Полностью восстановить температурное поле вокруг скважины за время ее простоя не удается. Температура на стенке скважины восстанавливается за месяц примерно на 50% и более, за летний сезон – на 80–85%, вдали от скважины процесс восстановления происходит с некоторым запозданием и на меньшие значения. В этих условиях возникает проблема полного восстановления теплового поля в горной породе вокруг скважины во время ее простоя в летний период.

КОМБИНИРОВАННАЯ СОЛНЕЧНО-ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Для бесперебойного энергоснабжения потребителей наиболее перспективны технологические системы, в которых используются возобновляемые источники энергии (ВИЭ) двух и более типов. Практически во всех регионах России есть ВИЭ одного или двух типов, коммерческая эксплуатация которых может быть оправдана, при этом некоторые регионы богаты возобновляемыми источниками всех типов.

Разработана и запатентована комбинированная солнечно-геотермальная технология для обеспечения горячей водой и теплом децентрализованных потребителей небольшой мощности (рис. 4) [9]. Такая технология включает в себя солнечные коллекторы 1, теплообменник 3, бак-аккумулятор 2, тепловой насос 9 и скважину-теплообменник 14. Теплоноситель (антифриз) циркулирует через солнечный коллектор, где нагревается энергией солнца, и затем отдает тепловую энергию воде через теплообменник 3, вмонтированный в бак-аккумулятор 2. В баке-аккумуляторе хранится горячая вода до момента ее использования, поэтому он должен иметь хорошую теплоизоляцию. В первом контуре, где расположен солнечный коллектор, может применяться естественная или принудительная циркуляция теплоносителя. На линии горячего водоснабжения вмонтирован электрический нагреватель 6. При уменьшении температуры в баке-аккумуляторе ниже установленной (продолжительная пасмурная погода или малое количество часов солнечного сияния зимой) электронагреватель включается и нагревает воду до заданной температуры.

Энергоблок солнечного коллектора эксплуатируется круглогодично и обеспечивает потребителя горячей водой, а энергоблок низкотемпературного напольного отопления с ТН и скважиной-теплообменником глубиной 100–200 м включается в эксплуатацию только в отопительный период.

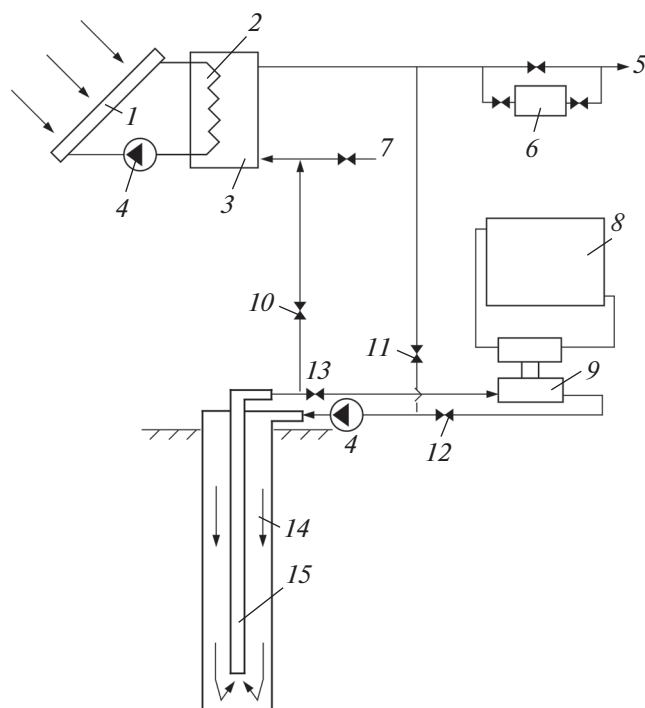


Рис. 4. Солнечно-геотермальная система тепло- и горячего водоснабжения.

1 – солнечные коллекторы; 2 – теплообменник; 3 – теплоизолированный бак-аккумулятор горячей воды; 4 – циркуляционный насос; 5 – линия горячего водоснабжения; 6 – электронагреватель; 7 – подпитка из водопровода; 8 – энергоблок низкотемпературного отопления; 9 – тепловой насос; 10–13 – вентиляторы; 14 – скважина-теплообменник; 15 – теплоизолированная лифтовая колонна

В цикле ТН холодная вода с температурой 5°C опускается в межтрубном пространстве скважины-теплообменника и отбирает низкопотенциальное тепло с окружающей горной породы. Далее, нагретая в зависимости от глубины скважины до температуры 10–15°C вода поднимается по центральной колонне труб на поверхность. Для предотвращения обратного оттока тепла центральная колонна снаружи теплоизолирована. На поверхности вода из скважины поступает в испаритель ТН, где происходит нагрев и испарение низкокипящего рабочего агента. После испарителя охлажденная вода вновь направляется в скважину. За отопительный период при постоянной циркуляции воды в скважине происходит постепенное охлаждение окружающей ее горной породы.

В летний период избыток тепловой энергии в виде горячей воды из бака-аккумулятора направляется в скважину для полного восстановления температуры в горной породе вокруг нее.

В период отключения отопления вентиляты 12 и 13 закрыты, и при открытых вентилятах 10 и 11 го-

рячая вода из бака-аккумулятора циркуляционным насосом закачивается в межтрубное пространство скважины, где по мере ее спуска происходит теплообмен с окружающей горной породой. Затем охлажденная вода по центральной теплоизолированной колонне направляется обратно в бак-аккумулятор. В отопительный период, наоборот, вентиляты 12 и 13 открыты, а 10 и 11 закрыты.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СОЛНЕЧНО-ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ СИСТЕМА

Комбинированная солнечно-геотермальная система для отопления и горячего водоснабжения дома коттеджного типа построена на полигоне Объединенного института высоких температур РАН в г. Махачкала. Система включает в себя скважинный теплообменник¹ глубиной 100 м для отбора тепла с горной породы (рис. 5), солнечные коллекторы (20 шт.) общей площадью 20 м², теплоизолированный бак-аккумулятор горячей воды объемом 1.2 м³ с встроенным теплообменником, линию горячей воды, а также энергоблок низкотемпературного отопления с тепловым насосом мощностью 15 кВт и циркуляционным насосом для прокачки промежуточного теплоносителя.

В системе использованы солнечные плоские коллекторы нового поколения, разработанные в Институте проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиале Объединенного института высоких температур РАН (ИПГВЭ ОИВТ РАН), производимые НПП “Ресурс-М”, которые имеют следующие технические характеристики:

Габаритные размеры (без патрубков), мм1500 × 700 × 60
Площадь поглощающего элемента, м ²0.98
Масса (сухая), кг10.5
Рабочее давление, МПа0.6
Объем каналов поглощающей панели, дм ³ /м ²1.2
Эффективность0.7

В коллекторах используются современные термостойкие полимерные материалы – сотовые поликарбонат и полипропилен. Коллекторы включают в себя металлический адсорбер типа “труба в листе” и прозрачное покрытие из сотового поликарбоната толщиной 4 мм. Защита тыльной сторо-

¹ Финансирование работ по строительству скважины осуществлено за счет средств федерального бюджета, выделенных в рамках ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России”, по государственному контракту № 02.740.11.0059 на выполнение научно-исследовательских работ по проекту “Разработка эффективных технологий комплексного освоения низкопотенциальных геотермальных ресурсов Восточного Предкавказья”.

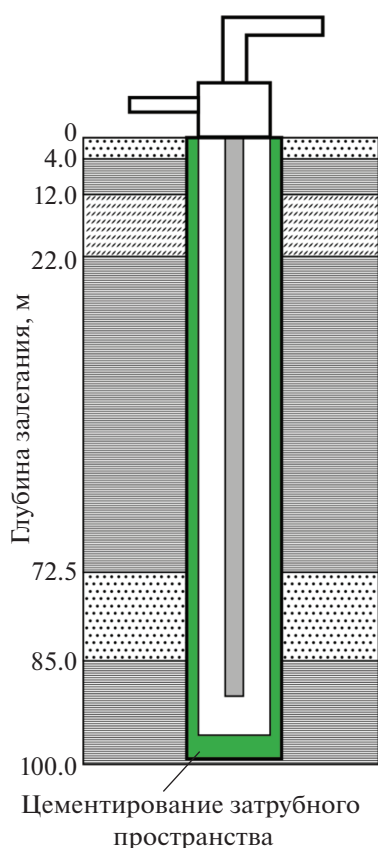


Рис. 5. Конструкция скважины-теплообменника. Породы по глубине залегания, м: 0–4 – песок; 4–12 – глина; 12–22 – глинистый песок; 22.0–72.5 – глина; 72.5–85.0 – песок; 85–100 – глина

ны коллектора выполнена из сотового полипропилена, теплоизоляция – из минеральной ваты. Бокое ограждение коллектора изготавливается из специально разработанного алюминиевого профиля. Этот коллектор, как лучший исполненный проект, награжден золотой медалью IX Московского международного салона инноваций и инвестиций. В настоящее время такие коллекторы широко используются на юге России в солнечных водонагревательных установках различного назначения.

Бак-аккумулятор рассчитан на трехсуточный запас горячей воды на четырех человек, внутри бака смонтирован металлический теплообменник, образующий с коллекторами первичный замкнутый контур, который заполняется незамерзающей жидкостью. Это обеспечивает работоспособность системы в зимний период. На время длительного отсутствия солнечной радиации в системе предусмотрен дублирующий электрический водонагреватель, который автоматически включается при падении температуры в системе горячего водоснабжения ниже заданного значения.

Грунтовый аккумулятор представляет собой вертикальную скважину со следующими характеристиками:

Глубина, м	100
Диаметр, мм	146
Диаметр внутренней трубы из ПВХ, мм	54
Толщина трубы, мм	7
Кольцевой зазор, мм	38

Теплоноситель (вода) нагнетается круглый год в кольцевой зазор между лифтовой колонной и скважиной, в отопительный период тепло отбирается с горной породы, в остальное время происходит восстановление теплового поля в горной породе вокруг скважины. На линии со скважиной установлен тепловой насос типа “вода–вода” MSR-J043WHC мощностью 15 кВт.

Солнечные коллекторы служат для обеспечения горячей водоснабжения в зимний период эксплуатации системы, когда солнечное сияние минимальное. В результате теплового расчета их площадь и количество были несколько увеличены. В летний период избыток тепловой энергии в виде горячей воды из бака-аккумулятора направляется в скважину для полного восстановления температуры в горной породе вокруг скважины.

Проведены испытания солнечных коллекторов в режиме с постоянным расходом теплоносителя. Такой режим наиболее распространен в солнечных водонагревательных установках, в которых циркуляция теплоносителя осуществляется с помощью насоса. Испытания выполняли в солнечные дни с 10 по 25 сентября 2019 г. В ходе испытаний измеряли температуру теплоносителя на входе и выходе коллекторов, плотность солнечной радиации, температуру наружного воздуха. Количество коллекторов равно 20, их суммарная площадь 20 м². Производительность циркуляционного насоса – 0.08 кг/с. В установке использовано параллельное соединение коллекторов, расход теплоносителя через один коллектор составляет 0.004 кг/с. Система работает в режиме накопления тепла в баке-аккумуляторе. Во время испытаний коллекторов не производились отбор тепла на отопление, горячее водоснабжение и передача тепла в грунтовый аккумулятор.

Результаты испытаний показали, что дневная производительность одного коллектора в сентябрьский солнечный день равна 14.24 МДж/м², при этом суммарная дневная солнечная радиация на поверхности коллектора, измеренная в ходе испытания, – 23.4 МДж/м². Следовательно, среднедневное значение КПД коллекторов составляет 0.62. При этом среднедневная температура теплоносителя в коллекторах – примерно 56°C.

Одновременно были проведены пробные за- качки теплоносителя в скважину-теплообмен- ник. До этого грунт вокруг скважины не подогре- вался закачкой теплоносителя и у породы была естественная температура скважины, которая плавно нарастала от ее устья к забоям с 15.0 до 18.5°C. Для закачки была использована артезиан- ская вода температурой 29°C, извлекаемая из от- дельной скважины с глубины 400 м для хозяй- ственно-питьевых нужд полигона ОИВТ РАН. Вода закачивалась с расходом 0.33 кг/с, на выходе из скважины температура закачиваемой воды снижалась до 21°C, что свидетельствует об успеш- ной аккумуляции тепла в горной породе.

Необходимо отметить, что в летний период для восстановления температуры в горной породе в скважинах неглубокого залегания можно успешно применять поверхностную воду, предварительно нагретую солнечным теплом в открытом бассейне.

Вырабатываемая солнечными коллекторами тепловая энергия используется полностью, при этом в летний период часть тепловой энергии, в других конструкциях солнечных установок теряе- мая безвозвратно, в предлагаемой системе накап- ливается в грунтовом аккумуляторе и в отопи- тельный период тепловым насосом подается для отопления дома.

Теплонасосные системы теплоснабжения с вертикальными грунтовыми теплообменника- ми могут быть успешно применены для созда- ния экологически чистых децентрализованных систем отопления и горячего водоснабжения, а также для снабжения теплом сельских потреби- телей. Скважины-теплообменники не требуют заметного отчуждения земли и могут сооруже- ния под фундаментом здания или в непосредствен- ной близости от него. Широкое применение этих технологий теплоснабжения позволит решить не только трудные задачи, связанные с приобрете- нием и доставкой энергоносителей в отдаленные населенные пункты, но и некоторые социальные проблемы на селе.

Поверхностные слои грунта – это довольно универсальный и повсеместно доступный источ- ник низкопотенциального тепла, и в России име- ются неограниченные возможности для приме- нения технологий ТСТ с вертикальными грунто- выми теплообменниками. На сегодняшний день в стране насчитывается более 30 млн индивиду- альных генераторов тепла, в состав которых вхо- дит, как правило, низкоэффективное оборудова- ние с повышенным выбросом загрязняющих ве- ществ в атмосферу и от которых в ближайшее время необходимо отказаться. Перспективным на- правлением решения этой проблемы будет широ- кое внедрение технологий солнечно-геотермаль- ных систем теплоснабжения с грунтовыми тепло- обменниками в вертикальных скважинах.

ВЫВОДЫ

1. Предложенная комбинированная техноло- гия по отбору и аккумуляции тепловой энер- гии верхних слоев земной коры, включающая в себя вертикальный скважинный теплообменник неглубокого заложения, тепловой насос и сол- нечные коллекторы и реализованная на полигоне Объединенного института высоких температур в г. Махачкала для тепло- и горячего водоснабже- ния дома коттеджного типа, по результатам про- веденных испытаний показала высокую эффек- тивность для теплоснабжения децентрализован- ных потребителей небольшой мощности.

2. Окончательный выбор комбинированной ТСТ, режим ее эксплуатации, глубина и количе- ство скважинных теплообменников зависят от по- требляемой тепловой мощности и технико-эконо- мического обоснования с учетом капитальных и эксплуатационных затрат, а также горно-геологи- ческих и теплофизических свойств пород разреза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алхасов А.Б.** Геотермальная энергетика: пробле- мы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит, 2008.
2. **Геотермальное** теплоснабжение в Московском реги- оне: температурный потенциал и рациональная глу- бина термоскважин / Г.П. Васильев, В.Ф. Горнов, А.Н. Дмитриев, М.В. Колесова, В.А. Юрченко // Теплоэнергетика. 2018. № 1. С. 85–92. <https://doi.org/10.1134/S0040363618010095>
3. **Kayaci N.** Energy and exergy analysis and thermo-eco- nomic optimization of the ground source heat pump in- tegrated with radiant wall panel and fan-coil unit with floor heating or radiator // *Renewable Energy*. 2020. V. 160. P. 333–349. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.150>
4. **Naicker S.S., Rees S.J.** Performance analysis of a large geothermal heating and cooling system // *Renewable Energy*. 2018. V. 122. P. 429–442. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.099>
5. **Villarino J.I., Villarino A., Fernández F.Á.** Experimen- tal and modelling analysis of an office building HVAC system based in a ground-coupled heat pump and radi- ant floor // *Appl. Energy*. 2017. V. 190. P. 1020–1028. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.152>
6. **Освоение** низкопотенциального геотермального тепла / А.Б. Алхасов, М.Г. Алишаев, Д.А. Алхасова, А.Г. Каймаразов, М.М. Рамазанов. М.: Физматлит, 2012.
7. **Алхасов А.Б., Алишаев М.Г.** Извлечение тепла грунта скважинным теплообменником в сезонном режиме работы // *Изв. РАН. Энергетика*. 2007. № 2. С. 129–136.
8. **Алхасов А.Б., Алишаев М.Г.** Гелио-геотермальная система теплоснабжения коттеджного дома // *Изв. РАН. Энергетика*. 2011. № 6. С. 122–132.
9. **Пат. № 2445554 РФ.** Система теплоснабжения и горячего водоснабжения на основе возобновляе- мых источников энергии / А.Б. Алхасов, Д.А. Алха- сова. Патентообладатель Институт проблем геотер- мии Дагестанского научного центра РАН. Опубл. 20.03.2012 // *Б.И.* 2012. № 8.

A Hybrid Solar–Geothermal Heat- and Hot-Water Supply System

A. B. Alkhasov^{a,*}, D. A. Alkhasova^a, and M. G. Dibirov^a

^a *Institute for Problems of Geothermal Research and Renewable Energy of the Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, 367030 Dagestan, Russia*

**e-mail: alibek_alhasov@mail.ru*

Abstract—The cooling of rock formations when extracting heat by a borehole heat exchanger and the restoration of the thermal field in the rock during the idle time of the well have been investigated. The heat in the rock during the summer downtime of the well is partially restored due to the influx of heat from the outside formation. The radius of the rock cooling front around the borehole in the heating period can reach 6–8 m. The temperature on the borehole wall is restored by approximately 50% in one month and by 80–85% in summer. Hybrid technology is proposed for the extraction and accumulation of thermal energy from the upper layers of the earth's crust comprised of a shallow borehole heat exchanger, a heat pump, and solar collectors. The technology provides for both the extraction of heat from the rock during the heating period and transmission of this heat to the heating system with a heat pump and the restoration of the temperature field around the well during the interheating period by accumulating in the rock formation the heat fed to the borehole heat exchanger with hot water from the storage tank. This system was implemented in Makhachkala at the test site of the Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences, for supplying heat and hot water to cottage-type houses. The main components of the system are solar collectors with a total area of 20 m², a heat-insulated hot water storage tank with a built-in heat exchanger, a 15-kW heat pump, and a 100-m deep borehole heat exchanger. The test results have demonstrated high efficiency of the system for supplying heat to low-power consumers not covered by central heating.

Keywords: low-temperature heat, heat transfer, heat pump, solar thermal collector, well, heat exchanger, intermediate heat-transfer medium, rock, renewable energy sources