

Colorado, August 19–22, 2001, Extended abstracts and papers, NREL, 2001, p. 199–207.

12. *Strebkov D.S., Litvinov P.P., Tverianovich E.V.* Research of functioning of a class of V-shaped stationary concentrators. Eurosun – 2004. Freiburg, Germany 14 Intern. Sonnenforum, Vol. 2 p. 3-072-3-078.

13. *Strebkov D.S., Koshkin N.L.* On development of Photovoltaic Power Engineering in Russia. Thermal Engineering, 1996, vol. 43, № 5, p. 381–384.

14. *Tsuo Y.S. Touyryan K., Gee J.M., Strebkov D.S., Pinov A.B., Zадde V.V.* Environmentally Benign Silicon Solar Cell Manufacturing. 2-nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion. 6 – 10 July 1998, Hofburg Kongresszentrum, Vienna, Austria, p.1199–1204.

Получено 10.03.2006 г.

УДК 697.7.001.2 (083.74)

АМЕРХАНОВ Р.А.

Кубанский государственный аграрный университет

ПЕТРОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Приводяться схемні рішення при використанні теплової енергії ґрунту в системах теплопостачання. Указується доцільність комплексного використання петротермальної і сонячної енергій в сполученні з теплонасосною установкою.

Приводятся схемные решения при использовании тепловой энергии грунта в системах теплоснабжения. Указывается целесообразность комплексного использования петротермальной и солнечной энергий в сочетании с теплонасосной установкой.

The circuit designs under using of thermal energy of soil in heat supply systems have been given. Advisability of multiple use of petrothermal and solar energy in combination with heat pump system has been shown.

h – глубина заложения регистра труб;
 $L_{\text{тр}}$ – требуемая длина труб;
 Q_0 – необходимая мощность теплоснабжения;

$q_{\text{ут}}$ – удельный теплосъем с единицы участка теплосбора;
 S – шаг между трубами.

В коре Земли заключено большое количество тепловой энергии.

Средний градиент температуры в ее поверхностных слоях равен примерно 30 °С/км. Твёрдые породы, образующие кору, имеют среднюю плотность 2700 кг/м³, теплоёмкость 1 кДж/(кг·К) и теплопроводность 2 Вт/(м·К), поэтому средний геотермальный поток составляет примерно 0,06 Вт/м².

В твёрдых породах теплопроводность является единственным механизмом теплопередачи. Поэтому при распространении теплоты через однородные материалы от мантии к поверхности земли градиент температуры будет постоянным.

Геотермальные районы подразделяют на три класса.

Гипертермальный район – для которого температурный градиент более 80 °С/км. Эти районы расположены в тектонической зоне вблизи границ континентальных плит.

Полутермальный район – это район, для которого температурный градиент от 40 до 80 °С/км.

Нормальный район – когда температурный градиент меньше 40 °С/км. Такие районы наиболее распространены. В этих районах температурный градиент составляет примерно 0,06 Вт/м².

Грунт представляет собой тепловой аккумулятор неограниченной ёмкости. Солнечная энергия,

поглощенная земной поверхностью, формирует температурный режим слоя грунта мощностью от 10 до 20 м в зависимости от почвенно-климатических условий местности [1].

Для сбора теплоты грунта в нем размещают регистр труб с циркулирующим по ним теплоносителем, который отбирает теплоту, накопленную грунтом, и отводит её потребителю.

В летнее время аккумулирующие свойства используются для систем хладоснабжения зданий.

Система теплохладоснабжения эффективна при использовании теплонасосных установок. Это позволяет получить от 2,5 до 3,5 кВт полезной теплоты на 1 кВт затраченной энергии.

Система сбора низкопотенциальной теплоты грунта включает следующие элементы:

- грунтовый массив участка отбора теплоты;
- регистр труб грунтового теплообменника;
- насос для принудительной циркуляции теплоносителя грунтового теплообменника;
- участок теплотрассы, соединяющий систему теплосбора с испарителем теплонасосной системы теплохладоснабжения.

Схемы регистра труб грунтового теплообменника приведены на рис. 1.

Глубину заложения регистра труб грунтового теплообменника h и шаг между трубами S выбирают в пределах 1...2 м.

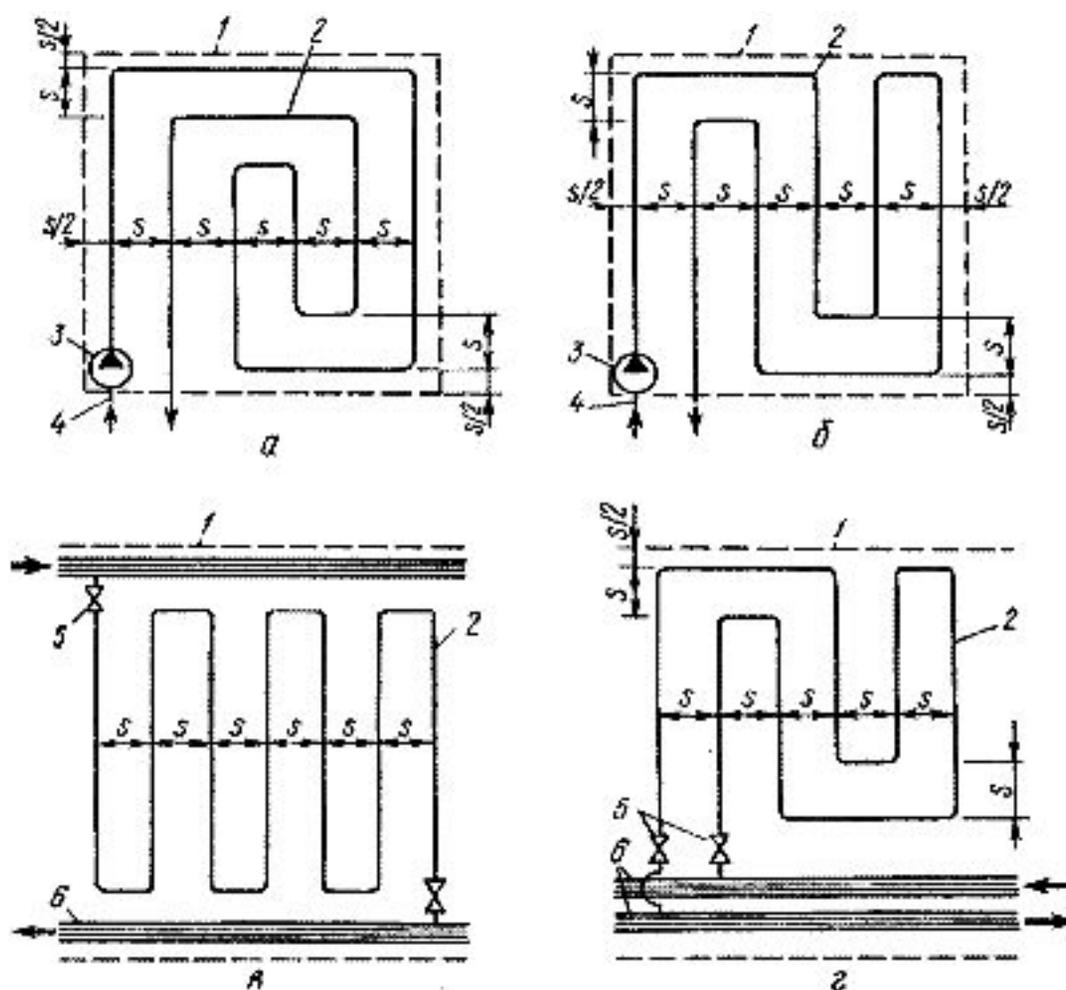


Рис. 1. Схемы расположения регистра труб грунтового теплообменника на участке теплосбора: а, б – при небольших мощностях системы теплохладоснабжения; в, г – при больших мощностях системы теплохладоснабжения; 1 – границы участков теплосбора; 2 – регистры труб грунтовых теплообменников; 3 – циркуляционные насосы; 4 – соединительные участки теплотрассы; 5 – отключающие вентили; б – магистральные трубопроводы.

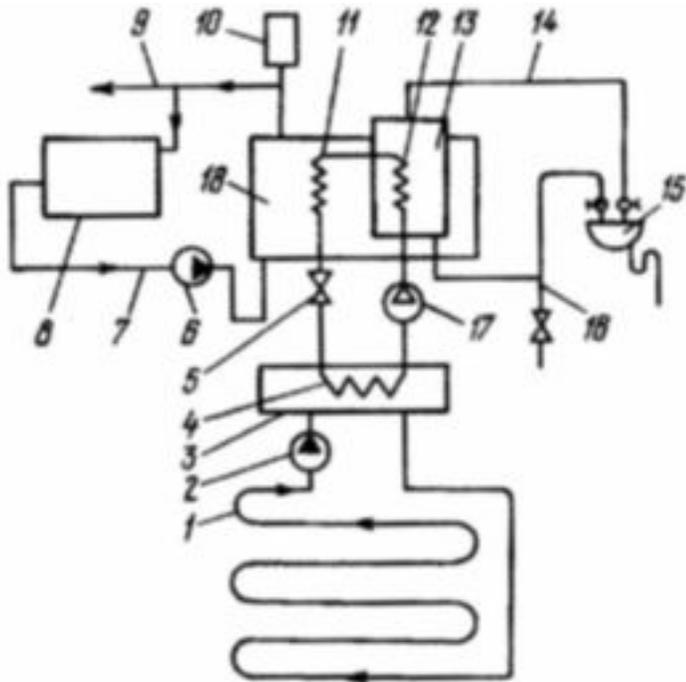


Рис. 2. Принципиальная схема петротермальной системы теплоснабжения жилого дома:
 1 — грунтовый теплообменник; 2 — насос;
 3 — емкость для антифриза; 4 — испаритель теплонасосной установки; 5 — редукционный клапан; 6 — насос для циркуляции воды в отопительной системе; 7, 8 — теплообменники конденсатора теплонасосной установки;
 9 — трубопровод горячей воды системы отопления; 10 — расширительный бак; 11, 12 — теплообменники конденсатора теплонасосной установки; 13 — бак горячей воды; 14 — трубопровод системы горячего водоснабжения; 15 — потребитель горячей воды; 16 — водопровод холодной воды;
 17 — компрессор теплонасосной установки; 18 — бак горячей воды для отопительной системы.

Общая требуемая длина труб $L_{тр}$, грунтового теплообменника определяется по формуле

$$L_{тр} = \frac{Q_0}{q_{ут} S}, \quad (1)$$

где $q_{ут} = 20...25 \text{ Вт/м}^2$.

Для грунтов небольшой теплопроводности рекомендуются большие значения глубины заложения h и шага S .

В качестве теплоносителя грунтового теплообменника следует применять деаэрированную воду или нетоксичный антифриз.

Поля температур в грунте при наличии в нём дискретных источников теплоты, подводимой в грунт или отводимой из него, могут быть определены по методике, изложенной в [2]. Суть метода в следующем. Грунт рассматривают как кусочно-однородную среду с плоскими границами раздела. Подобная модель учитывает неоднородность теплофизических характеристик породы по глубине. Поле температур предполагается трёхмерным. В среде, где расположен источник, оно описывается уравнением Пуассона, в остальных средах — уравнением Лапласа. В уравнение Пуассона входит единичная функция Дирака, поскольку источник теплоты точечный. Заметим, что функция Дирака $\sigma(x - x_0, y - y_0, z - z_0)$ принимает всюду нулевые значения за исключением точки (x_0, y_0, z_0) , где обращается в бесконечность.

Применив двукратное интегральное преобразование Фурье, краевые задачи для уравнения в частных производных заменяют более простыми краевыми задачами для дифференциальных уравнений с обыкновенными производными.

Перейдя к полярным координатам и используя функцию Бесселя, находят решение для искомого потенциала, т.е. для температуры. Таким путём получают выражение для потенциалов всех слоев многослойной среды в грунте.

На рис. 2 приведена схема петротермальной системы, предназначенной для теплоснабжения жилых домов на 4...6 человек.

Регистр полиэтиленовых труб диаметром 40 мм и общей длиной 400 м размещался в земле на глубине 0,9...1,0. Расстояние между трубами 1 м. Теплоносителем служил антифриз.

Исследования показали, что такая система обеспечивает для условий Латвии примерно 85 % потребности в теплоте для системы отопления и горячего водоснабжения в течение отопительного периода. Тот факт, что при этом нет сажи, копоти, золы и шлака, указывает на экологически чистую в данном случае систему теплоснабжения. Она характеризуется также пожаробезопасностью из-за отсутствия открытых источников огня.

Энергетические ресурсы грунта можно эффективно использовать при комплексной альтернативной системе теплоснабжения (КАСТ), предусматривающей применение солнечной и теплонасосной установок и аккумулялирование энергии в грунте [3].

КАСТ представляет собою интегрированную полиэлементную структуру, которая состоит из нескольких автономных составляющих, которые в свою очередь могут работать независимо (в моноструктурном режиме) или совместно (в биструктурном режиме) при разном соединении ее основных элементов (рис. 3).

В солнечной системе 1 происходит поглощение и аккумулирование солнечного излучения. Солнечный контур, кроме солнечного коллектора, содержит аккумулятор теплоты, насосы, регулирующие клапаны, фильтры, теплообменники и систему контрольно-измерительных устройств и автоматики.

В моноструктурном режиме работы по замкнутой схеме гелиосистема 1 используется для отопления. Тепловая энергия может передаваться потребителю непосредственно от бака-аккумулятора, а также путем использования трансформатора теплоты – теплового насосу 3, что обеспечивает повышение уровня температуры теплоносителя на входе к контуру теплового потребителя 4. В моноструктурном режиме работы грунтовой системы 2 с использованием грунтовых теплообменников, подключенных к теплому насосу 3, происходит отвод теплоты, которая аккумулирована в грунте и передача ее теплому потребителю 4 на более высоком температурном уровне.

Биструктурная система теплоснабжения решает использовать совместно два разнородных возобновительных источника энергии, которые по природным свойствам способны в случае дефицита к взаимной компенсации. В биструктурной конфигурации КАСТ благодаря наличию двух испарителей теплового насоса создаются благоприятные условия для утилизации низкопотенциальной энергии, которая поступает от двух независимых природных источников – солнца и грунта. В этом случае тепловой насос играет роль трансформатора теплоты одновременно для двух источников возобновляемой энергии.

В случае дефицита возобновляемой энергии и недостаточной мощности теплового насоса конфигурация КАСТ предусматривает возможность включения в работу резервного источника традиционной энергии (дублера) для обеспечения на-

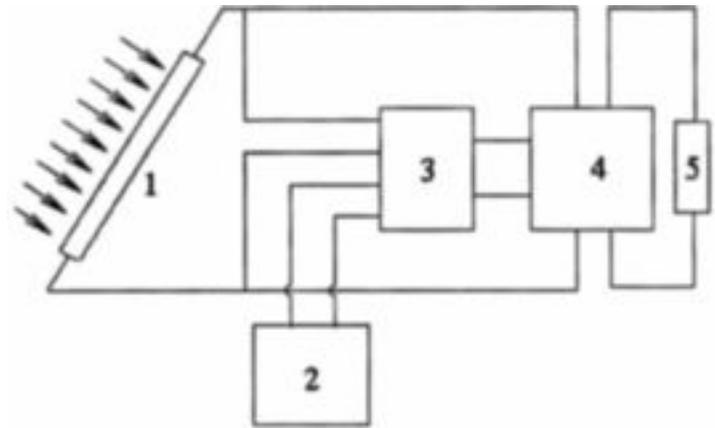


Рис. 3. Обобщенная схема КАСТ:
 1 — солнечная система; 2 — грунтовая система;
 3 — тепловой насос; 4 — система
 теплоснабжения; 5 — дублер энергии.

грузки теплового потребителя на необходимом уровне комфорта. Поскольку система теплоснабжения на основе возобновляемых источников энергии является низкопотенциальной (температурный уровень теплоносителя 40...50 °С), предусмотрено использование отопляющих устройств с увеличенной поверхностью обогрева. Резервным источником энергии принят электрический обогреватель, который включается в работу в случае дефицита возобновляемой энергии, т. е., когда невозможно поддерживать тепловые требования потребителя на надлежащем уровне.

Третьим элементом блок-схемы КАСТ является объект теплоснабжения, представляющий собой отдельный промышленный или жилой дом, запроектированный с соблюдением типичных требований к таким сооружениям.

Комплексная альтернативная система теплоснабжения с использованием петротермальной энергии показана на рис. 4.

Оптимизация систем петротермального теплоснабжения может быть выполнена на основе теоретико-графовых построений и эксерго-экономического анализа [4–5].

Выводы

1. Теплота грунта может быть эффективно использована для систем теплоснабжения или долгосрочного аккумулирования энергии.

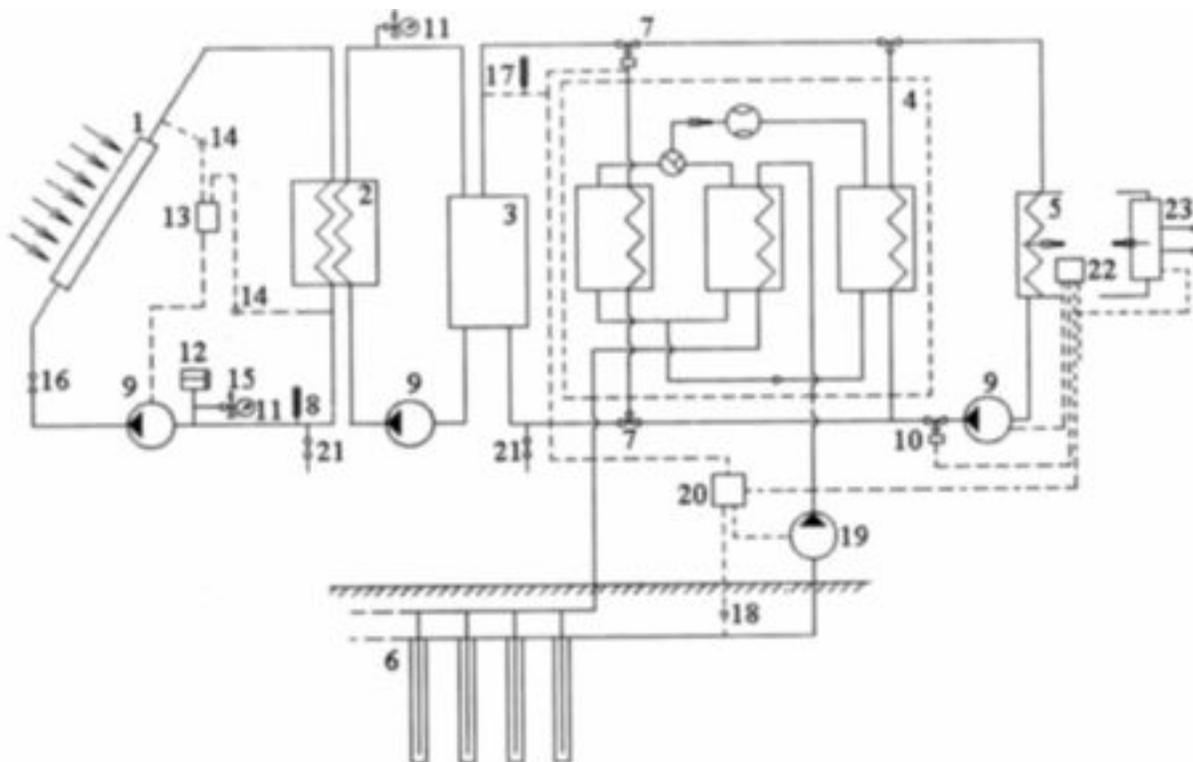


Рис. 4. Схема теплоснабжения на основе двух возобновляемых источников энергии с применением теплонасосной установки:

1 — плоский солнечный коллектор; 2 — теплообменник; 3 — бак-аккумулятор теплоты; 4 — тепловой насос; 5 — система отопления; 6 — грунтовые теплообменники; 7 — трехходовой регулирующий клапан; 8 — термометр; 9 — насос; 10 — клапан для регулирования расхода в контуре потребителя; 11 — предупредительный клапан; 12 — уровнемер; 13 — контрольно-измерительное устройство и автоматика контура гелиоколлектора; 14 — датчик температуры контура гелиоколлектора; 15 — воздушный клапан; 16 — обратный клапан; 17 — датчик температуры аккумулятора гелиоконтура; 18 — датчик температуры грунтовой системы; 19 — насос грунтовой системы; 20 — система регулирования контура грунтовой системы; 21 — входной клапан; 22 — система контроля и регулирования температуры воздуха в помещении при работе системы теплоснабжения от возобновляемых источников или от резервного источника энергии; 23 — резервный источник энергии.

2. Оптимальным является комплексное использование солнечной и петротермальной энергий в сочетании с теплонасосной установкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов Н.М. Температура Земли. — М.: Недра, 1971. — 119 с.
 2. Амерханов Р.А., Драганов Б.Х., Булгаков В.М. Математическое и физическое моделирование задачи энергосбережения в сооружениях защищенного грунта // Збірник наукових статей. НАУ. — 2002. Вип. 10. — С. 7...14.

3. Денисова А.Е., Мазуренко А.С., Тодорцев Ю.К. Модель комплексной альтернативной системы теплоснабжения // Экотехнологии и ресурсосбережения. — 2000. — № 5. — С. 8...12.
 4. Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M. Thermal Design and Optimization. — New York: J. Wiley, 1996.
 5. Dragan G., Draganov B. Methods of power system optimization // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. — 2002. № 1. — С. 98-101.

Получено 10.03.2006 г.