Бакиева И.Д. Использование низкопотенциальной энергии грунтов как способ повышения энергоэффективности зданий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 123–130. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.14

Bakieva I.D. Use of low potential energy of soil as a way to improve the energy efficiency of buildings. *PNRPU Bulletin Construction and architecture*. 2016. Vol. 7, No. 1. Pp. 123-130. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.14

**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 7, № 1, 2016
PNRPU BULLETIN
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.14

УДК 69.059

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ГРУНТОВ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

И.Д. Бакиева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 18 января 2016
Принята: 29 января 2016
Опубликована: 31 марта 2016

Ключевые слова:

энергосбережение,
геотермальная энергия,
низкопотенциальная энергия,
высокопотенциальная энергия,
тепловой насос,
энергоэффективные
фундаменты, грунтовые
теплообменники,
геотермальные системы

АННОТАЦИЯ

В настоящее время в России энергосбережение является одной из приоритетных задач в развитии экономики. Внимание уделяется ограничению роста потребления энергетических ресурсов в строительстве. Поскольку острая нехватка запасов традиционных источников энергии превратила данную проблему в одну из глобальных, ученые стали искать методы решения проблемы энергосбережения. Были разработаны и реализованы проекты энергоэффективных конструкций, одной из которых являются энергоэффективные фундаменты. В зарубежной практике данные конструкции уже нашли широкое применение. В России энергоэффективные фундаменты являются новшеством в сфере энергосбережения. В связи с многочисленными исследованиями ученые пришли к выводу, что геотермальная энергия, выделяемая внутренними зонами Земли, может служить альтернативным источником питания и обеспечивать тепло и электричеством здания, введенные в эксплуатацию. За счет устройства – теплового насоса – проблема энергосбережения нашла свое решение. Циклическая работа теплового насоса, перевод им низкопотенциальной энергии в высокопотенциальную, стала одной из главных методов решения проблемы энергосбережения. В статье представлены виды грунтовых теплообменников, показано расположение первичных и вторичных контуров теплового насоса, описан процесс его работы. Данный прибор имеет огромное значение в сфере энергосбережения, и в настоящее время стараются все чаще использовать данное устройство в строительстве.

© ПНИПУ

© Бакиева Ильмира Дамировна – магистрант, e-mail: spstf@pstu.ru.

Il'mira D. Bakieva – Master Student, e-mail: spstf@pstu.ru.

USE OF LOW POTENTIAL ENERGY OF SOIL AS A WAY TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS

I.D. Bakieva

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 18 January 2016
Accepted: 29 January 2016
Published: 31 March 2016

Keywords:

energy, geothermal energy, low potential energy, high-grade energy, heat pumps, energy-efficient foundations, ground heat exchangers, geothermal systems

ABSTRACT

This article deals with the problem of energy saving. Currently, the Russian energy conservation is one of the priorities in the development of the economy. Attention is paid to limit the growth of energy consumption in the building. Since the acute shortage of reserves of traditional energy sources, have made this issue one of global, scientists began to look for methods to solve the problem of energy saving. It was designed and implemented projects of energy-efficient designs, one of which is energy-efficient foundations. In foreign practice energy-efficient foundations are already widely used. In Russia, these designs are a new phenomenon in the field of energy saving. Due to numerous studies, researchers concluded that geothermal energy released internal areas of the Earth, can serve as an alternative source of power and provide heat and electricity to the building, put into operation. Due to the device – the heat pump – the problem of energy saving found its solution. Cyclic operation of the heat pump, translating them into high nizkopotentsiyaalnoy energy, has become one of the main methods for solving the problem of energy saving. This article presents the types of ground heat exchangers, shows the location of the primary and secondary circuit of the heat pump in the process of his work. This device has made a huge difference in the sphere of energy efficiency, and is now increasingly trying to use this device in the building.

© PNRPU

В связи с постоянными ростом цен на абсолютно все энергоносители человечество стремится найти альтернативные источники питания для обеспечения теплом и электричеством.

За последние 30 лет мировое энергопотребление возросло почти в два раза. Среднегодовые темпы прироста мирового энергопотребления составили 2,7 % [1]. Энергетические ресурсы являются необходимым условием существования современной цивилизации. С учетом естественной ограниченности мировых запасов энергетических ресурсов (в настоящее время эта потребность покрывается преимущественно за счет газа и нефти), при существующих объемах и темпах роста потребления, очевидной становится возможность возникновения их дефицита в обозримом будущем (через 30–50 лет) [2]. Исчерпание запасов традиционных источников энергии, острая ее нехватка для многих стран, особенно слаборазвитых и развивающихся, быстрый рост цен превратили проблему рационального использования источников энергии в одну из глобальных, влияющих на весь ход развития человеческой цивилизации и на сохранение среды ее проживания.

В связи с этим одним из приоритетных направлений в развитии мировой экономики является ограничение темпов роста потребления энергетических ресурсов за счет повышения энергоэффективности объектов в строительстве.

Проблема энергосбережения особенно актуальна для стран с высокоразвитой экономикой, в первую очередь для стран Европы, где до 70 % энергопотребления удовлетворяется за счет импорта [3].

В последние годы задача энергосбережения становится и для Российской Федерации стратегическим направлением развития (в выступлениях Президента и Председателя Правительства РФ, на заседаниях Правительства и Госсовета РФ поднимается вопрос

энергосбережения). Многие специалисты и обозреватели отмечают, что на единицу выпускаемой продукции энергозатраты в России в несколько раз выше, чем в развитых странах мира. В области строительства и энергообеспечения зданий различного назначения удельные затраты энергии в нашей стране также значительно выше, чем в большинстве зарубежных стран. В 2009 г. Государственной думой принят Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности».

В зарубежной практике нашли широкое применение энергоэффективные конструкции фундаментов «двойного» назначения, что для России является новым явлением в области энергосбережения. В российской практике подобные конструкции пока не получили широкого применения, что связано с отсутствием достаточных экспериментальных данных для разработки методик проектирования данных фундаментов.

Энергоэффективность фундаментов «двойного» назначения объясняется тем, что, кроме основной функции фундаментов – передачи полезной нагрузки на грунтовое основание, фундаменты «двойного» назначения за счет своей развитой контактной поверхности позволяют использовать геотермальную энергию окружающего грунтового массива для отопления зданий в период их эксплуатации [4].

Исследования в области энергоэффективных конструкций фундаментов соотносятся с целями Государственной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», в части реализации энергосберегающих технологий и проектов [5].

Геотермальная энергия – это тепловая энергия, которая выделяется из внутренних зон Земли на протяжении сотен миллионов лет. Ее подразделяют на высокопотенциальную и низкопотенциальную.

На основе высокопотенциальной геотермальной энергии грунта возможна работа двух типов системы: гидротермальной и петротермальной [6]. С помощью гидротермального метода разрабатываются термальные водные ресурсы природного происхождения. Данные ресурсы могут быть использованы как для прямой (тепло), так и для не прямой (электричество) генерации энергии. С помощью петротермального метода энергия генерируется с использованием горячего горизонта плотной породы. Эксплуатация твердой породы происходит посредством бурения скважин глубиной в несколько тысяч метров и закачки воды в породу под высоким давлением, что приводит к теплообмену. Затем земной «теплообменник» направляет энергию в виде водяного пара вверх через другую скважину, где она используется либо в качестве прямого тепла, либо в паровых турбинах для генерации электричества [7].

Генерация низкопотенциальной энергии грунта связана с использованием скважин глубиной до 400 м. На данной глубине температура повышается в среднем на 3 °С на каждые 100 м глубины [8].

Температура на глубине относительно температуры на поверхности земли не колеблется в зависимости от солнечной энергии [9]. В период значительного колебания температур, что свойственно российскому климату, температура на глубине нескольких метров остается неизменной в пределах среднего значения 10 °С (рис. 1). В летнее время температура воздуха поднимается в среднем до 20 °С, однако температура почвы на глубине нескольких метров имеет практически постоянную температуру в 10 °С. Грунт является стабильным источником энергии, которая может быть использована на протяжении всего года (в системах как отопления зданий, так и охлаждения) [10].

Рис. 1. Изменение температур в верхней части грунта в течение года до глубины 15 м (Центральная Европа)

Fig.1. Changing temperatures in the upper part of the soil throughout the year to a depth of 15 m. Central Europe

Низкопотенциальную энергию грунта в отличие от высокопотенциальной нельзя использовать напрямую. Для горячего водоснабжения и отопления здания температуру необходимо повысить. Данный процесс происходит с помощью устройства, изобретенного британским физиком Уильямом Томсоном. В XIX в. он придумал устройство – «умножитель тепла», которое стало прообразом современных геотермальных установок – тепловых насосов [11]. Устройство преобразует низкопотенциальную энергию грунта в высокопотенциальную.

При проектировании геотермальных систем первостепенное значение придается местным инженерно-геологическим, гидрогеологическим и климатическим условиям. Должное внимание уделяют определению свойств грунта: влажности, теплопроводности, плотности, удельной теплоемкости. Необходимыми условиями для определения и установления термального потенциала грунтов является оценка различных процессов тепло-массообмена. Расчет количества получаемой термальной энергии в значительной степени влияет на КПД системы теплового насоса [12].

Система теплового насоса представляет собой энергетическую систему, в состав которой входят источник теплоты (первичный контур), тепловой насос и система потребления теплоты (вторичный контур). Источниками теплоты для теплового насоса служат воздух, солнечная энергия, вода и грунт. В геотермальных системах в качестве источника используется теплота грунта, на которую ключевое влияние оказывают геология, гидрология и климатические условия, т.е. способность грунта к регенерации.

Тепловые насосы представляют собой парокомпрессионные установки, с помощью которых низкотемпературная энергия окружающей среды может быть использована в системах отопления и охлаждения зданий. Циклическая работа в тепловом насосе происхо-

дит за счет четырех компонентов: испарителя, компрессора, конденсатора и расширительного клапана. Носителем термальной энергии является хладагент с очень низкой температурой кипения. В испарителе хладагент поглощает тепло из окружающей среды и переходит в газообразное состояние. В компрессоре хладагент сжимается и доводится до более высокой температуры. В конденсаторе тепловая энергия передается в отопительный контур. В расширительном клапане хладагент расширяется для повторения цикла (рис. 2) [13].

Рис. 2. Принцип работы теплового насоса
Fig. 2. The principle of operation of the heat pump

В геотермальных системах первичный контур выполняют в виде грунтовых коллекторов (теплообменников). Грунтовые теплообменники бывают горизонтального и вертикального типа [14]. К горизонтальному типу относят горизонтальный теплообменник (поверхностный) и энергетические корзины. К горизонтальным грунтовым теплообменникам относятся теплообменники, устанавливающиеся по горизонтали или диагонали в верхнем слое грунта на глубине в среднем до 2 м. Данная система может представлять собой отдельные контуры труб или трубные регистры, которые устанавливаются возле здания или под фундаментной плитой (рис. 3).

Рис. 3. Горизонтальный (поверхностный) теплообменник

Fig.3. Horizontal (surface) heat exchanger

Энергетические корзины (гибрид горизонтальных и вертикальных теплообменников) – это теплообменники, представляющие собой отдельные контуры труб, закрученные по спирали. Они устанавливаются в грунте вертикально на глубине до 5 м (рис. 4).

Рис. 4. Энергетические корзины
Fig. 4. The energy basket

Вертикальный тип теплообменников включает в себя энергоэффективные сваи (ЭЭС) и буровые скважины. ЭЭС устанавливаются под зданием и входят в состав свайного фундамента. Отдельные трубы или группы труб в U-образной форме, в форме спирали или в виде меандра устанавливаются в сваи. Операция проводится непосредственно на строительной площадке, где контуры труб размещаются в подготовительных скважинах и заливаются бетоном или с помощью заранее изготовленных свай (рис. 5).

Буровые скважины представляют собой тип вертикального коллектора, при котором теплообменники устанавливаются в грунте вертикально или по диагонали. В данном случае один (одинарный зонд) или два (двойной зонд) U-образных трубных контура либо концентрированный зонд (труба в трубе) устанавливается в скважину (рис. 6).

Рис. 5. Энергоэффективные сваи (ЭЭС)
Fig. 5. Energy-efficient pile

Рис. 6. Вертикальный тип коллекторов.
Буровые скважины
Fig. 6. Vertical type collectors. Boreholes

Выбор геотермальной системы зависит от условий окружающей среды (геологических, гидрогеологических и климатических), эксплуатационных данных, режима эксплуатации, типа здания (частого или коммерческого назначения), доступного места и правовых норм.

Для геотермальных систем нет особенных ограничений по использованию в зависимости от климата. Они одинаково эффективно работают в любых климатических условиях, где есть источник низкопотенциального тепла. Это энергоэффективное оборудование с высокой безопасностью и надежностью. Крупных геотермальных проектов в России единицы – они носят в основном экспериментальный характер. Такие проекты запущены пока только в Краснодарском крае, Ростовской области и Находке [15].

Библиографический список

1. Огуречников Л.А. Геотермальные ресурсы в энергетике // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 11 (31). – С. 58–66.
2. Баева А.Г., Москвичева В.Н. Геотермальная энергия: проблемы, ресурсы, использование / Ин-т теплофизики. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1979. – 350 с.
3. Васильев Г.П. Энергоэффективные здания с теплонасосными системами теплоснабжения // ЖКХ. – 2002. – № 12. – С. 12–15.
4. Бобров И.А., Захаров А.В. Применение тепловой энергии грунтового основания для отопления и кондиционирования зданий // Вестник Пермского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 1. – С. 10–14.
5. Захаров А.В., Пономарев А.Б., Машенко А.В. Энергоэффективные конструкции в подземном строительстве: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 127 с.
6. Попель О.С. Возобновляемые источники энергм в регионах Российской Федерации // Энергосвет. – 2011. – № 5 (18). – С. 22–26.
7. ORKUSTOFNUN Working Group, Iceland: Sustainable production of geothermal energy – suggested definition // IGA News. – 2001. – No. 43. January–March, 1–2.
8. Sanner B. Ground Heat Sources for Heat Pumps (classification, characteristics, advantages). – 2002.
9. Дворов И.М. Глубинное тепло Земли / отв. ред. А.В. Щербаков. – М.: Наука, 1972. – 208 с.
10. Rybach L., Sanner B. Ground-source heat pump systems – the European experience // GeoHeatCenter Bull. – 2000. – № 21/1. – P. 16–26.
11. Бутузов В.А., Томаров Г.В., Шетов В.Х. Геотермальная система теплоснабжения с использованием солнечной энергии и тепловых насосов // Энергосбережение. – 2008. – № 3. – С. 68–70.
12. Захаров А.В. Применение геотермальной энергии грунта для отопления зданий в климатических и инженерно-геологических условиях Пермского края // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – № 2 (23). – С. 85–89.
13. Rybach L. Status and prospects of geothermal heat pumps (GHP) in Europe and worldwide; sustainability aspects of GHPs // International course of geothermal heat pumps. – 2002. – P. 1–15.
14. Пономарев А.Б., Захаров А.В. Использование геотермальной энергии для отопления и кондиционирования зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – Вып. 17 (36). – С. 119–122.
15. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли: моногр. – М.: Граница, 2006. – 176 с.

References

1. Ogurechnikov L.A. Geotermal'nye resursy v energetike [Geothermal resources in the energy sector]. *Al'ternativnaia energetika i ekologiya*, 2005. no. 11 (31), pp. 58-66.
2. Baeva A.G., Moskvicheva V.N. Geotermal'naia energiia: problemy, resursy, ispol'zovanie [Geothermal energy: problems, resources use]. Novosibirsk: Institut fiziki, 1979. 350 p.
3. Vasil'ev G.P. Energoeffektivnye zdaniia s teplonasosnymi sistemami teplosnabzheniia [Energy-efficient buildings with heat pump heating systems]. *Zhilishchno-kommunal'noe khoziaistvo*, 2002, no. 12, pp. 12-15.
4. Bobrov I.A., Zakharov A.V. Primenenie teplovoi energii gruntovogo osnovaniia dlia otopleniia i konditsionirovaniia zdanii [The use of thermal energy subgrade for heating and cooling of buildings]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2011, no. 1, pp. 10-14.
5. Zakharov A.V., Ponomarev A.B., Mashchenko A.V. Energoeffektivnye konstruksii v podzemnom stroitel'stve [Energy-efficient design in civil engineering]. Permskii natsional'nyi issledovatel'akii politekhnicheskii universitet, 2012. 127 p.
6. Popel' O.S. Vozobnovliaemye istochniki energii v regionakh Rossiiskoi Federatsii [Renewable energym in the regions of the Russian Federation]. *Energosvet*, 2011, no. 5 (18), pp. 22-26.
7. ORKUSTOFNUN Working Group, Iceland: Sustainable production of geothermal energy – suggested definition. *IGA News*, no. 43, January–March, 1–2.
8. Sanner B. Ground Heat Sources for Heat Pumps (classification, characteristics, advantages). 2002.
9. Dvorov I. M. Glubinnoe teplo Zemli [Geothermal heat]. Ed. A.V. Shcherbakov. Moscow: Nauka, 1972. 208 p.
10. Rybach L., Sanner B. Ground-source heat pump systems – the European experience. *GeoHeatCenter Bull.*, 2000, no. 21/1, pp. 16-26.
11. Butuzov V.A., Tomarov G.V., Shetov V.H. Geotermal'naia sistema teplosnabzheniia s ispol'zovaniem solnechnoi energii i teplovykh nasosov [Geothermal heating system using solar energy and heat pumps]. *Energoberezhenie*, 2008, no. 3, pp. 68-70.
12. Zakharov A.V. Primenenie geotermal'noi energii grunta dlia otopleniia zdanii v klimaticheskikh i inzhenerno-geologicheskikh usloviiah Permskogo kraia [The use of geothermal energy for heating buildings soil in climatic and geotechnical conditions of the Perm region]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2010, no. 2 (23), pp. 85-89.
13. Rybach L. Status and prospects of geothermal heat pumps (GHP) in Europe and worldwide; sustainability aspects of GHPs. *International course of geothermal heat pumps*, 2002, pp. 1-15.
14. Ponomarev A.B., Zaharov A.V. Ispol'zovanie geotermal'noi energii dlia otopleniia i konditsionirovaniia zdanii [The use of geothermal energy for heating and cooling buildings]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2010, vol. 17 (36), pp. 119-122.
15. Vasil'ev G.P. Teplokhodosnabzhenie zdanii i sooruzhenii s ispol'zovaniem nizkopotentsial'noi teplovoi energii poverhnostnykh sloev zemli [Heat and cold buildings with low potential thermal energy of the surface layers of the earth]. Moscow: Granitsa, 2006. 176 p.