

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №2, Том 10 / 2018, No 2, Vol 10 <https://esj.today/issue-2-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/38SAVN218.pdf>

Статья поступила в редакцию 27.03.2018; опубликована 20.05.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Сучилин В.А., Кочетков А.С., Губанов Н.Н. Исследование эффективности грунтового горизонтального теплообменника бытового теплового насоса с помощью Comsol Multiphysics // Вестник Евразийской науки, 2018 №2, <https://esj.today/PDF/38SAVN218.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Suchilin V.A., Kochetkov A.S., Gubanov N.N. (2018). Investigation of the efficiency of a ground horizontal heat exchanger for a domestic heat pump using Comsol Multiphysics. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(10). Available at: <https://esj.today/PDF/38SAVN218.pdf> (in Russian)

УДК 621.577.2, 621.577.4

ГРНТИ 44.31.41

Сучилин Владимир Алексеевич

ФБГОУ «Российский государственный университет туризма и сервиса», Москва, Россия
Доктор технических наук, профессор
E-mail: suchilinv@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7467-5033>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=446556

Кочетков Алексей Сергеевич

ФБГОУ «Российский государственный университет туризма и сервиса», Москва, Россия
Старший преподаватель
Магистр

E-mail: alesha2701@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=638450

Губанов Николай Николаевич

ФБГОУ «Российский государственный университет туризма и сервиса», Москва, Россия
Старший преподаватель
Магистр

E-mail: gubanov.nik@yandex.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=632242

Исследование эффективности грунтового горизонтального теплообменника бытового теплового насоса с помощью Comsol Multiphysics

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы исследования грунтовых горизонтальных теплообменников к бытовым тепловым насосам методами компьютерного моделирования. Практика использования теплонасосных установок в быту показывает, что наиболее часто применяются в качестве источников низкопотенциальной энергии грунтовые горизонтальные теплообменники. Подобные грунтовые теплообменники отличаются простотой исполнения монтажных работ и, в целом, достаточно быстрым восстановлением энергетического потенциала весной за счет талых вод. Однако эффективность их работы во многом зависит от свойств грунта, в котором помещаются трубы теплообменника, от структуры теплообменника и многих других факторов теплонасосной системы. В связи с этим, прежде чем устанавливать тепловой насос для отопления в существующих или вновь

строющихся частных домах, необходимо оценить потенциальные энергетические возможности грунта на соответствующем участке. Другими словами, провести предварительно исследование грунтового теплообменника на модели с учетом параметров данного источника низкопотенциальной энергии.

Нами предлагается методика моделирования и исследования определенной структуры грунтового горизонтального теплообменника, что соответствует условиям работы бытовых малых и средних теплонасосных установок на базе COMSOL Multiphysics.

При этом программное обеспечение позволяет достаточно просто управлять исходными факторами при поиске оптимального решения функционирования теплообменника.

Техническим результатом исследований является определение возможностей повышения эффективности данного вида теплообменников к бытовым тепловым насосам.

Ключевые слова: отопление; тепловые насосы; теплонасосные установки; грунтовые теплообменники; эффективность; моделирование систем; методика исследования; программное обеспечение; COMSOL Multiphysics

Действующие в настоящее время тарифы на тепловую энергию, а также затраты на подключение к городским тепловым сетям, заставляют частный сектор все чаще задумываться над альтернативными способами теплоснабжения. В этом случае теплонасосные установки (ТНУ) представляются одним из наиболее эффективных альтернативных средств решения проблемы отопления и горячего водоснабжения (ГВС) помещений. Так тепловые насосы (ТН) нашли уже широкое применение для теплоснабжения жилых и административных зданий в США, Швеции, Канаде и других странах со сходными с Россией климатическими условиями. По достаточно смелому прогнозу Мирового энергетического комитета к 2020 г. в передовых странах доля отопления и горячего водоснабжения с помощью ТН составит 75 %. Расширяется опыт применения тепловых насосов и в России. Важно отметить, что теплонасосные системы обеспечивают комплексное круглогодичное тепло-хладоснабжение помещений, и относятся к области энергосберегающих экологически чистых технологий, использующих возобновляемые источники энергии.

В последнее время появились интересные исследования по эффективности грунтовых теплообменников, например, для многоэтажного строительства. Рассматривается система отопления и ГВС в комплексе, где используются различные источники нагрева отопительной и горячей воды (электродкотел, газовый котел, солнечный коллектор, тепловой насос) [1].

Таким образом в качестве достаточно универсального источника низкопотенциального тепла можно использовать теплоту грунта. Известно, что на глубине 4-5 м температура грунта в течение года практически постоянна и в климатических условиях средней полосы России эта температура составляет +5-8 °С, что весьма неплохо для использования в тепловых насосах.

Известны три способа обустройства грунтовых теплообменников для бытовых ТНУ. Первый из них – это грунтовой горизонтальный теплообменник, который быстро весной отогревается талыми водами, восстанавливая необходимый температурный потенциал. Однако он требует большой занимаемой площади под вскрышные работы при прокладывании труб теплообменника. Второй вид грунтового теплообменника – вертикальный в форме скважин, который характеризуется сравнительно высокой ценой буровых и монтажа работ и определенными неудобствами за счет использования на участке тяжелой техники. В связи с этим данный вид грунтового теплообменника в основном применяется для ТНУ повышенной мощности и зданий значительных отапливаемых площадей [1]. И, наконец, третий грунтовой теплообменник – кластерный, который стал применяться сравнительно недавно, выполнен в

виде компактной схемы из нескольких скважин, сравнительно неглубоких, исходящих из одного колодца. Однако в случае переохлаждения грунта, скважины плохо отогреваются, создавая неудобства для ремонтной службы.

Основной проблемой всех отмеченных видов грунтовых теплообменников является охлаждение грунта вокруг теплообменника при эксплуатации ТНУ и, следовательно, снижение эффективности ТНУ, особенно в зимний период эксплуатации. В то же время, как показал анализ использования ТНУ в частном секторе, значительно чаще потребитель теплонасосной энергии использует грунтовые горизонтальные теплообменники [2].

В связи с этим исследование и разработка более эффективных грунтовых горизонтальных теплообменников к бытовым тепловым насосам важны и актуальны, и, прежде чем устанавливать ТН для отопления, например, частного дома, необходимо не только оценить энергетический потенциал грунта в течение всего года эксплуатации, но возможности повышения его в случае необходимости, а также спрогнозировать рациональное расходование накопленной грунтом в летний период тепловой энергии [2-8].

В рамках этих задач нами предложен способ повышения эффективности работы ТНУ компрессионного типа с грунтовым горизонтальным теплообменником за счет восстановления теплового баланса грунта в зоне грунтового теплообменника. Поставленная задача решалась за счет того, что грунтовый теплообменник снабжался аккумулятором тепловой энергии, помещенный в грунт в непосредственной близости от горизонтального теплообменника, и предназначался для подогрева грунта, получавший в свою очередь энергию от солнечного коллектора [9-11].

Стабильность работы ТНУ во многом также зависит от правильного выполнения прогнозирования эксплуатации ее в течение намеченного срока службы в реальных условиях. В настоящее время для подобных исследований широко используют программное обеспечение COMSOL Multiphysics, которое предназначено для решения научных и инженерных задач и основывается на использовании метода конечных элементов (FEM) при решении дифференциальных уравнений в частных производных. Для моделирования геотермальных отопительных систем существует общая методика исследования подобных процессов [12], однако, реальные условия эксплуатации ТНУ требуют учета множества недостаточно исследованных факторов при индивидуальном подходе к оценке работоспособности грунтовых теплообменников. Ниже приводится одно из подобных решений на основе проведенного анализа элементов эффективности ТНУ типа грунт-вода в разное время года.

За основу взята известная модель геотермального нагрева от грунтового контура [12], учтены особенности структурной геометрии теплообменника, помещенного в грунт, потенциально возможный на дачном участке средней полосы России. Эта модель использует параметры реальных условий эксплуатации ТНУ. В частности, заданы температурный градиент с учетом глубины залегания в грунте теплообменника, температура на поверхности земли в зависимости от времени года, которая, с учетом соответствующих поправок, сравнивалась с данными температуры Центральной Европы.

Теплообменник (рис. 1) трубчатый, состоящий из полиэтиленовых труб диаметром 36 мм общей длиной около 140 м, уложенных в грунт петлями ниже уровня промерзания. Входной конец трубы теплообменника связан с выходом испарителя теплового насоса и имеет пониженную температуру теплоносителя, которую необходимо повысить за счет температуры грунта и подать на вход испарителя ТН для обеспечения процесса кипения хладагента в его системе. Моделирование основывалось на интерфейсах Heat Transfer in Solids (ht) и Heat Transfer in Pipes (htp), в которых задаются и решаются уравнения теплообмена между грунтом и потоком жидкости в системе труб теплообменника.

Учитывая, что ТНУ у населения работают при большом разбросе условий – это и различные климатические характеристики, различные энергетические параметры теплообменников и грунтов их окружающих, потребляемые и вырабатываемые тепловые мощности и многое другое, в принятой модели ряд характеристик представлен в параметрическом виде. Что позволяет практически исследовать теплообменники для ТН разной мощности, различного периода эксплуатации по месяцам года, позволяет судить о температурном состоянии грунта по дням в течение любого месяца.

Результатом исследования грунтового теплообменника стали графики температуры теплоносителя в трубах на входе и выходе теплообменника, температуры на поверхности и внутри грунта, причем по слоям с определенным градиентом изменения по месяцам года.

Таким образом, меняя исходные параметры процесса, определяют оптимальную модель грунтового теплообменника и данные функциональной эффективности ТН. На рис. 1 показано распределение температуры теплоносителя в трубе теплообменника в момент времени 2,5 ч (0,10417 суток), соответствующий завершению активной фазы суточного цикла работы ТН, в январе месяце при отрицательной температуре на поверхности грунта. При этом на входе трубы теплообменника температура $-3,12^{\circ}\text{C}$ и на выходе $-2,14^{\circ}\text{C}$. Анализ полученных данных только по одному опыту, приведенному на рис. 1, показывает, что грунтовой теплообменник в январе уже не в состоянии повысить температуру теплоносителя на необходимую величину для обеспечения эффективной работы ТНУ, следовательно, ТНУ не обеспечит комфортную температуру в отопительной системе, не говоря уже о снабжении ГВС.

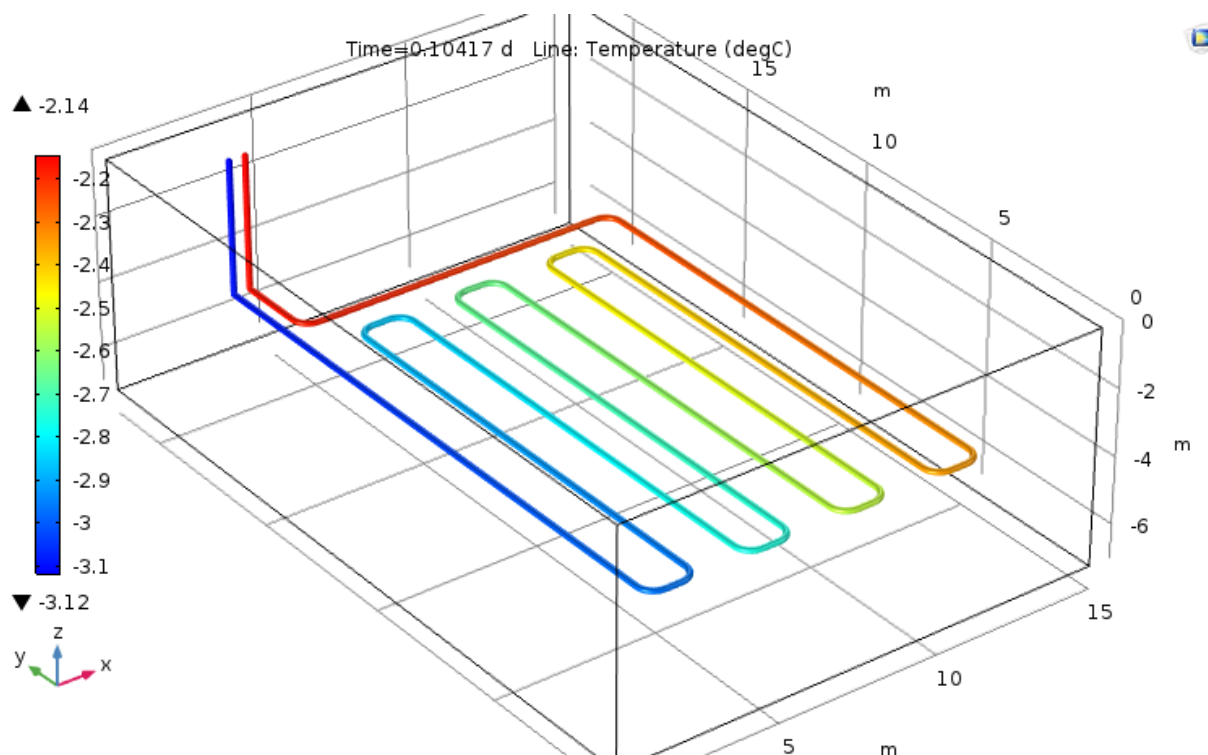


Рисунок 1. Распределение температуры теплоносителя в трубе грунтового теплообменника в зимний период (разработано автором)

Для решения возникшей проблемы можно воспользоваться известными в этом случае рекомендациями по подключению дополнительного источника обогрева помещения, например, электрического обогревателя, т. е. систему отопления спланировать бивалентной, с возможностью компенсации недостающего тепла в зимний период. Или, например, использовать технические рекомендации, изложенные в патентах [9-11]. Все это также можно заложить в данную модель и найти оптимальное решение для целого ряда бытовых ТНУ,

отличающихся исходными условиями и потребностями клиентов в комфортном отоплении и горячем водоснабжении помещений.

На рис. 2 показан график температуры теплоносителя на входе трубы теплообменника за трое суток исследования модели. За время 2,5 ч (0,10417 суток) теплообменник обеспечил ТН плановый тепловой объем энергии в 10 кВт*ч, а температура теплоносителя упала до минимума в -3,12 °С. После чего до конца суток тепловой насос отключался и не потреблял тепловой энергии от теплообменника, а теплоноситель циркулировал через испаритель, для восстановления температуры теплоносителя в системе труб теплообменника и изучения состояния грунта, его окружающего. Цикл работы ТН составляет одни сутки, затем процесс повторяется с уменьшением минимальной температуры теплоносителя до -3,27 °С и -3,35 °С на вторые и третьи сутки.

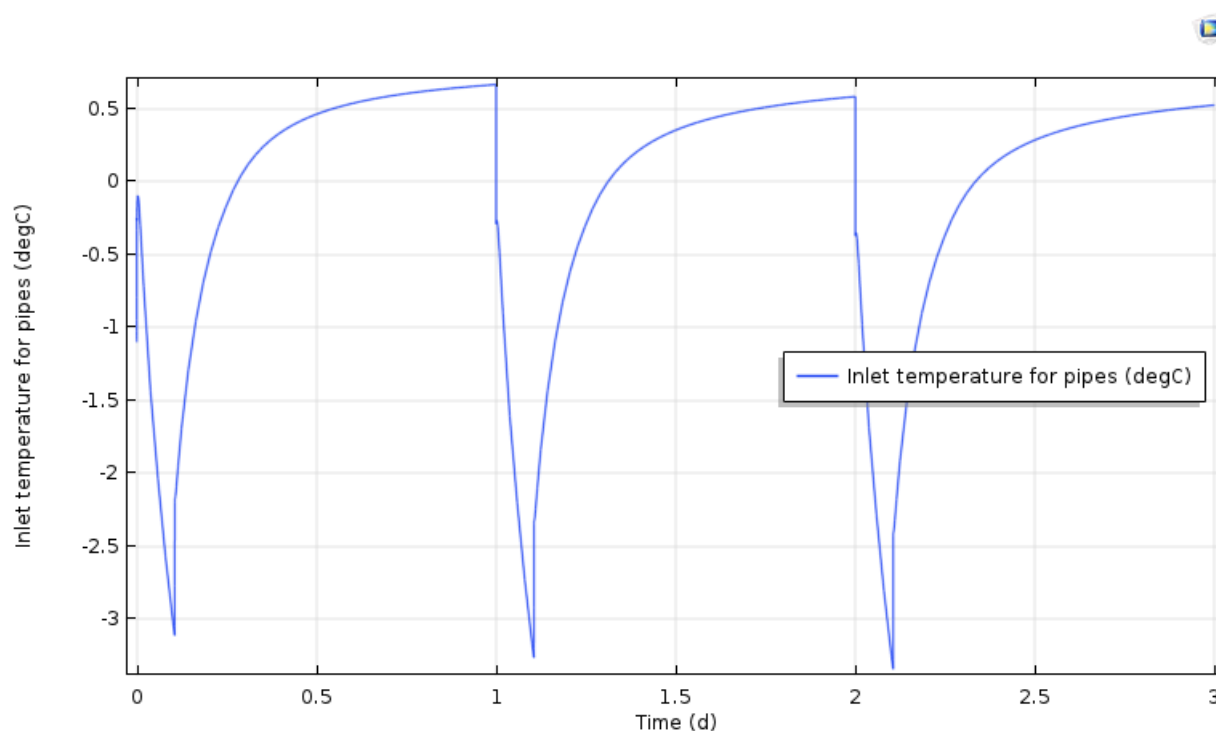


Рисунок 2. Температура теплоносителя на входе трубы
грунтового теплообменника за трое суток исследования (разработано автором)

На рис. 3 показана температура теплоносителя на выходе трубы грунтового теплообменника за трое суток исследования. Температура теплоносителя в трубах теплообменника от момента фиксации ее значения -2,14 °С на графике рис. 1 восстановилась практически за 0,9 суток до максимума в 0,68 °С. На вторые и третьи сутки это значение уменьшилось до 0,59 °С и 0,53 °С. Важно отметить, что максимальная температура теплоносителя (на выходе), как и минимальная (на входе) в трубах теплообменника на протяжении трех суток падала, что приведет к снижению эффективности работы ТНУ и к возможному промерзанию грунта при дальнейшей ее эксплуатации.

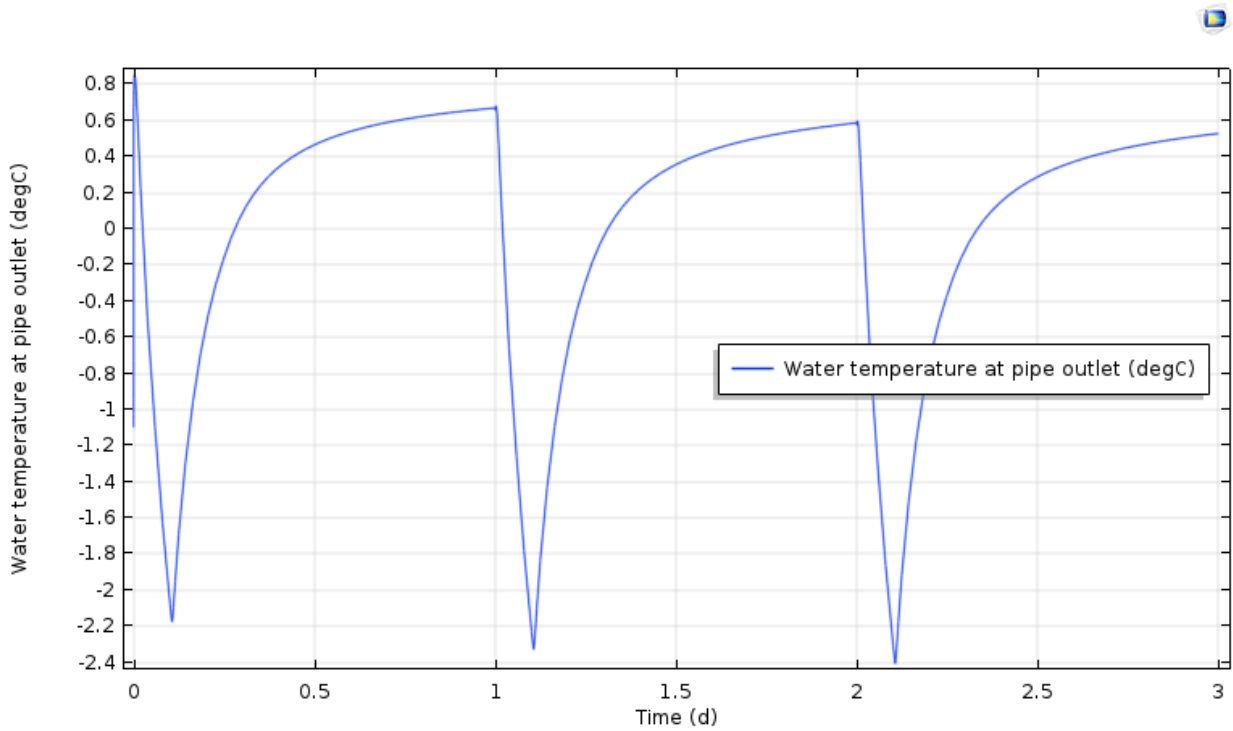


Рисунок 3. Температура теплоносителя на выходе трубы
грунтового теплообменника за трое суток исследования (разработано автором)

На рис. 4 показано распределение температуры грунта в области теплообменника в момент времени 0,10417 суток.

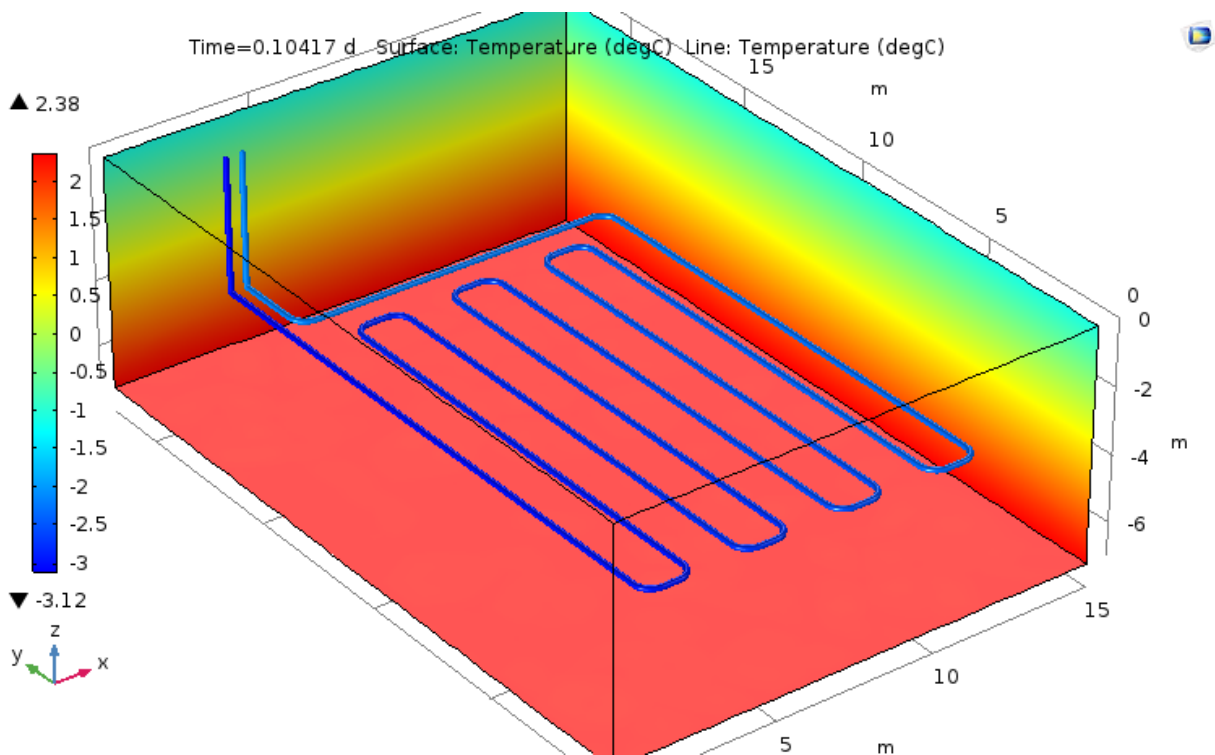


Рисунок 4. Распределение температуры грунта
в области теплообменника в зимний период (разработано автором)

График показывает, что на уровне поверхности земли температура -1,1 °С, а на глубине 6 м уже +2,38 °С. На уровне возможного промерзания грунта 2 м температура около 0 °С. Это

подтверждает выше сделанные выводы о низкой эффективности ТНУ в зимний период без учета мероприятий по структурной модернизации подобных теплообменников, направленных на предварительное накопление или непрерывное восстановление его энергетического потенциала, что также ограничивает применение ТН средней и большой мощности.

Заключение

1. Техническим результатом исследования является определение возможностей повышения эффективности горизонтального грунтового теплообменника к бытовым тепловым насосам.
2. Проведено моделирование и исследование функционирования горизонтального грунтового теплообменника к бытовой ТНУ в диапазоне востребованных эксплуатационных показателей.
3. Получены численные показатели работоспособности грунтового горизонтального теплообменника в характерные периоды эксплуатации бытовой ТНУ и рекомендации по повышению эффективности функционирования бытовых ТНУ различной мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимофеев Д.В. Эффективность работы геотермальной теплонасосной системы теплоснабжения в жилом доме / Д.В. Тимофеев, Е.Г. Малявина // СОК. – 2018. – №2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/effektivnost-raboty-geotermalnoy-teplonasosnoy-sistemy-teplonasabzheniya-v-zhilom-dome>, свободный. – Загл. с экрана. – 27.03.18.
2. Филиппов С.П. Малая энергетика в России // Теплоэнергетика. – 2009. – №8. – С. 38-42.
3. Васильев Г.П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных установках / Г.П. Васильев, Н.В. Шилкин // АВОК. – 2003. – №2. – С. 52-60.
4. Сучилин В.А. Автономная система отопления и горячего водоснабжения на основе тепловых насосов / В.А. Сучилин, А.С. Кочетков, С.А. Голиков // Современные концепции техники и технологии: проблемы, состояние и перспективы [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://interactive-plus.ru/discussion_platform.php?requestid=18271, свободный. – Загл. с экрана. – 27.03.18.
5. Сухих А.А. Испытание теплового насоса для теплоснабжения индивидуального дома / А.А. Сухих, К.С. Генералов, И.А. Акимов // РосТепло.ру – все о теплоснабжении в России [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_stablon.php?id=224, свободный. – Загл. с экрана. – 27.03.18.
6. Фролов В.П. Анализ эффективности использования тепловых насосов в централизованных системах горячего водоснабжения / В.П. Фролов, С.Н. Щербаков, М.В. Фролов, А.Я. Шелгинский // Энергосбережение. – 2004. – №2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL:

- https://www.abok.ru/for_spec/articles/php?nid=2431, свободный. – Загл. с экрана. – 27.03.18.
7. Suchilin V.A. Method for Refrigerators Efficiency Increasing / V.A. Suchilin, L.V. Sumzina, A.V. Maksimov // 2017 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 262 012121 [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012121/pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – 27.03.18.
 8. Васильев Г.П. Теплонасосные системы теплоснабжения (ТСТ) для потребителей тепловой энергии в сельской местности // Теплоэнергетика. – 1997. – №4. – С. 24-27.
 9. Патент 2636018 Российская федерация, МПК F24D 15/00. Система отопления и горячего водоснабжения помещений / Сучилин В.А., Кочетков А.С.; заявитель и патентообладатель Российский государственный университет туризма и сервиса. – №2016104802; заявл. 12.02.16; опубл. 17.11.17, Бюл. №32. – 3 с.
 10. Патент 2638252 Российская федерация, МПК F24D 3/18. Каскадная теплонасосная установка для отопления и горячего водоснабжения помещений сферы быта и коммунального хозяйства / Сучилин В.А., Губанов Н.Н., Кочетков А.С.; заявитель и патентообладатель Российский государственный университет туризма и сервиса. – №2016122646; заявл. 08.06.16; опубл. 12.12.17, Бюл. №35. – 3 с.
 11. Патент 2645812 Российская федерация, МПК F24T 10/01. Внешний грунтовой горизонтальный контур для теплонасосных установок / Сучилин В.А., Губанов Н.Н., Кочетков А.С.; заявитель и патентообладатель Российский государственный университет туризма и сервиса. – №2016149178; заявл. 14.12.16; опубл. 28.02.18, Бюл. № 7. – 3 с.
 12. Oberdofter P. Coupling heat transfer in heat pipe arrays with subsurface porous media flow for long time predictions of solar rechargeable geothermal systems / P. Oberdofter, R. Hu, Rahman M., E. Holzbecher and others [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.comsol.com/paper/coupling-heat-transfer-in-heat-pipe-arrays-with-subsurface-porouos-media-flow-for-13383>, свободный. – Загл. с экрана. – 27.03.18.

Suchilin Vladimir Alekseevich

Russian state university of tourism and service, Moscow, Russia
E-mail: suchilinv@mail.ru

Kochetkov Alexey Sergeevich

Russian state university of tourism and service, Moscow, Russia
E-mail: alesha2701@mail.ru

Gubanov Nikolay Nikolaevich

Russian state university of tourism and service, Moscow, Russia
E-mail: gubanov.nik@yandex.ru

Investigation of the efficiency of a ground horizontal heat exchanger for a domestic heat pump using Comsol Multiphysics

Abstract. In the article the questions of research of ground horizontal heat exchangers to household heat pumps by methods of computer modeling are considered. The practice of using heat pump systems in everyday life shows that the ground horizontal heat exchangers are most often used as sources of low-potential energy. Such ground heat exchangers are distinguished by the simplicity of the installation work and, on the whole, by a fairly rapid restoration of the energy potential in the spring due to meltwater. However, the efficiency of their operation depends largely on the properties of the soil in which the heat exchanger tubes are placed, from the structure of the heat exchanger and many other factors of the heat pump system. In this regard, before installing a heat pump for heating in existing or newly built private houses, it is necessary to assess the potential energy potential of the soil in the relevant area. In other words, conduct a preliminary study of the ground heat exchanger in the model taking into account the parameters of this source of low-potential energy.

We propose a technique for modeling and studying a specific structure of a ground horizontal heat exchanger, which corresponds to the conditions of operation of household small and medium heat pump installations based on COMSOL Multiphysics.

At the same time, the software allows you to easily manage the initial factors when searching for the optimal solution for the heat exchanger operation.

The technical result of the research is to determine the possibilities of increasing the efficiency of this type of heat exchangers to domestic heat pumps.

Keywords: heating; heat pumps; heat pump systems; ground heat exchangers; efficiency; system modeling; research methodology; software; COMSOL Multiphysics