

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

2018, №1, Том 10 / 2018, No 1, Vol 10 <https://esj.today/issue-1-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/49SAVN118.pdf>

Статья поступила в редакцию 19.02.2018; опубликована 12.04.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Сучилин В.А., Кочетков А.С., Губанов Н.Н. Моделирование внешних теплообменников к бытовым тепловым насосам с помощью Comsol Multiphysics // Вестник Евразийской науки, 2018 №1, <https://esj.today/PDF/49SAVN118.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Suchilin V.A., Kochetkov A.S., Gubanov N.N. (2018). Modeling external heat exchangers to a domestic heat pump using Comsol Multiphysics. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(10). Available at: <https://esj.today/PDF/49SAVN118.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

Моделирование внешних теплообменников к бытовым тепловым насосам с помощью Comsol Multiphysics

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы моделирования внешних теплообменников к бытовым тепловым насосам. Практика использования теплонасосных установок для отопления и горячего водоснабжения помещений показывает, что эффективность их работы главным образом определяется стабильностью и достаточностью низкопотенциальной энергии источников в течение всего года. В качестве таковых, как правило, выступают искусственные и естественные водоемы, реки и грунт, накопившие тепловую энергию за летний период от солнца, а также это могут быть сточные воды и др. В связи с этим, прежде чем устанавливать тепловой насос для отопления в существующих или вновь строящихся частных домах, необходимо оценить потенциальные энергетические возможности водоема или грунта на соответствующем участке. Другими словами, провести

предварительно моделирование внешнего теплообменника с учетом параметров данного источника низкопотенциальной энергии.

Нами предлагается методика моделирования теплообменника в водной среде ограниченного объема, что соответствует условиям работы малых и средних теплонасосных установок на базе COMSOL Multiphysics.

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

Техническим результатом исследований является определение возможностей повышения эффективности бытовых тепловых насосов.

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

Известно, что из года в год потребность в энергии в стране растет быстрыми темпами, особенно это заметно в системах отопления и горячего водоснабжения, а возможности получения ее в необходимом количестве не столь высоки, что и порождает поиск и разработку новых путей и направлений получения и сбережения всех видов энергии, в том числе и за счет задействования альтернативных источников [1-4].

В связи с этим возрос интерес у нас в стране к теории и практике применения тепловых насосов (ТН), позволяющих расширять возможности по снабжению тепловой энергией не только частные дома и дачи, но и здания, и помещения ЖКХ и службы быта. В частности, уже сейчас есть планы по разработке ТН большой мощности для строительства комплексов многоэтажных домов. А в западных странах, например, в Германии, Швейцарии и др. тепловую энергию для отопления и горячего водоснабжения (ГВС) от тепловых насосов уже много лет получают не только отдельные коттеджи, но и целые поселки.

Теплонасосное отопление относят к геотермальным системам выработки тепловой энергии. В настоящее время эта энергия рассматривается как альтернативная энергия, основанная на возобновляемых энергетических ресурсах. Так вода и земля (грунт) накапливают тепловую энергию за летний период от солнца, которую можно использовать для хозяйственных нужд с помощью тепловых насосов. При этом низкопотенциальная тепловая энергия подается к ТН от внешних теплообменников, которые помещаются чаще всего либо в водоемы, либо в грунт. Таким образом, тепловой насос и внешний теплообменник составляют основную часть структуры теплонасосной установки (ТНУ). В ее составе необходим естественно и внутренний теплообменник с различными приборами отопления.

Сам по себе ТН – это устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) и трансформации ее в более высокую температуру для потребителя, т. е. устройство, способно обеспечивать определенный режим отопления помещения и горячее водоснабжение его. В торговой сети представлены ТН достаточно широкой номенклатуры. Они постоянно совершенствуются, но у нас в стране пока все еще не имеют широкого спроса. Причиной тому высокая цена и не столь высокая эффективность вследствие нестабильности в работе внешних к ним теплообменников [5-7].

Внешние теплообменники к ТН практически всегда индивидуальны по структуре и условиям эксплуатации. Вызвано это тем, что водоемы и грунты, в которые помещаются теплообменники, обладают разными возможностями накапливать низкопотенциальную энергию.

Необходимо отметить, что еще не все задачи решены со стабильностью теплопередачи внешних теплообменников ТН. Известно, в средней полосе грунт на глубинах 5-10 м имеет температуру около +5 °С, которая очень мало меняется в течение всего года. В более южных районах эта температура может достигать +10 °С и выше. Тем не менее, постоянный отбор тепла из грунта внешним теплообменником ТН длительное время значительно снизит температуру грунта вокруг теплообменника по сравнению с исходной. Это приведёт к падению энергоэффективности теплонасосной установки и системы отопления и горячего водоснабжения в целом.

Стабилизации энергоэффективности системы ТНУ при эксплуатации иногда пытаются достигать за счет использования солнечного коллектора, соединенного с теплообменником внешнего контура ТН. Однако низкая теплопроводность грунта не позволяют в полной мере восстановить тепловой потенциал его за летний период.

ТНУ типа грунт-вода отличаются прежде всего структурами внешних теплообменников. Основными из них можно считать: а) горизонтальный теплообменник; б) вертикальный теплообменник в глубокой скважине; в) вертикальный или наклонный теплообменник кластерного типа. Производительность грунтового теплового насоса скважинного типа напрямую зависит от грамотно выбранной схемы разводки первичного контура.

ТНУ с горизонтальными теплообменниками требуют значительных земельных участков, больших затрат на земляные и монтажные работы для прокладки труб для низкопотенциального теплоносителя, что является препятствием для широкого внедрения ТН в практику альтернативного теплоснабжения населения.

ТНУ с вертикальным теплообменником в глубокой скважине подходят для домов с небольшими участками земли. Выполняют их как правило в количестве двух-трех. Однако выполнение скважин требует сложной техники, монтажные операции дороги и мало доступны в сельской и дачной местности. Кроме того, система не технологична с точки зрения монтажных работ. Она также не ремонтпригодна, так как в глубоких скважинах невозможно отремонтировать теплообменник внешнего контура и саму скважину.

Кластерное бурение используется, если возможности установки вертикальных глубоких скважин ограничены площадью участка. Бурение подобных скважин осуществляется следующим образом. Сначала выкапывают один общий колодец. Так как для конструкции требуется площадь всего 4 м², бурить можно даже в подвале своего дома. Колодец углубляют до 4 м, устанавливают в нем специальное оборудование. Далее выполняется бурение вертикальных скважин или под углом («кустом»). Работы выполняются с помощью специальной техники.

Технология бурения для внешнего теплообменника «кустом» была разработана в Европе, где пользуется огромной популярностью. В нашей стране данная методика только начинает внедряться, поэтому еще не нашла широкого применения.

ТНУ типа вода-вода имеют внешний теплообменник из труб, как правило, полимерных, помещенных в водоем. Это может быть пруд, река, структура теплообменников не отличается сложностью и не требует больших затрат. Однако возможны некоторые препятствия, которые возникают в период эксплуатации ТНУ.

В связи с этим прежде чем устанавливать ТН для отопления, например частного дома, необходимо оценить потенциальные энергетические возможности водоема или грунта на соответствующем участке. Другими словами, провести предварительно моделирование внешнего теплообменника ТН с учетом параметров данного источника низкопотенциальной энергии [8-10].

В настоящее время для этого широко используют программное обеспечение COMSOL Multiphysics, которое предназначено для расчетов научных и инженерных задач и основывается на применении метода конечных элементов (FEM) для решения дифференциальных уравнений в частных производных. Для моделирования геотермальных систем существует общая методика моделирования подобных процессов [11], однако, как отмечалось выше, необходим индивидуальный подход к установке ТН в реальных условиях его эксплуатации. Ниже приводится одно из подобных решений на основе проведенного анализа эффективности ТНУ типа вода-вода в разное время года.

За основу взята известная модель геотермального нагрева от водоемного контура [11], учтены особенности структурной геометрии теплообменника, помещенного в водоем, потенциально возможный на дачном участке средней полосы России. Теплообменник (рис.1) включает восемь катушек радиусом 1 м из полиэтиленовых труб диаметром 20 мм, с общей длиной около 400 м. В трубах циркулирует вода – теплоноситель низкопотенциальной энергии. Входной конец трубы теплообменника связан с выходом испарителя ТН и имеет пониженную температуру воды, которую необходимо повысить за счет температуры воды в водоеме и подать на вход испарителя ТН для обеспечения процесса кипения хладагента в его системе. Моделирование основывалось на интерфейсе Nonisothermal Pipe Flow, в котором задаются и решаются уравнения теплообмена между водой в водоеме и потоком жидкости в системе труб теплообменника.

Результатом исследования процесса теплообмена являются графики температуры теплоносителя в трубе на выходе из водоема, давление и скорость теплоносителя в трубах, а также значение числа Рейнольдса (Re), определяющего характеристики движения теплоносителя. Меняя исходные параметры процесса, определяют оптимальную модель внешнего теплообменника и данные функциональной эффективности ТН. Априори известно, что температура теплоносителя, поступающая в испаритель ТН должна быть не ниже 3-5 °С, что необходимо для обеспечения эффективного испарения в нем хладагента.

На рис. 1 показан график температуры на выходе из трубы теплообменника 7,5 °С, что вполне обеспечивает нормальную работу испарителя ТН в летний период.

В тоже время можно предусмотреть для структуры теплообменника возможность подъема катушек в верхние слои воды водоема, где температура значительно выше, что дополнительно повысит температуру теплоносителя в трубах, а значит и эффективность работы испарителя теплового насоса.

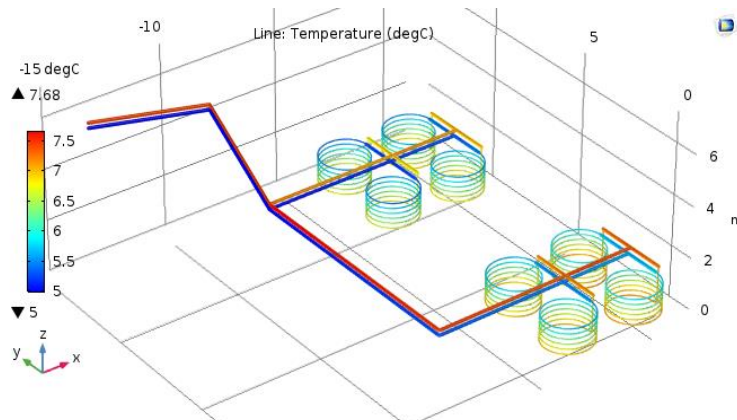


Рисунок 1. Температура теплоносителя на выходе из трубы теплообменника в летний период (составлено автором)

На рис. 2 показан также график температуры теплоносителя, но в зимний период, где температура теплоносителя на входе в испаритель всего 1,2 °С, что связано с низкой

температурой воды в водоеме. Очевидно, что в зимний период теплообменник данной структуры будет работать не так эффективно, что естественно отразится на показателях отопительной воды и ГВС помещения.

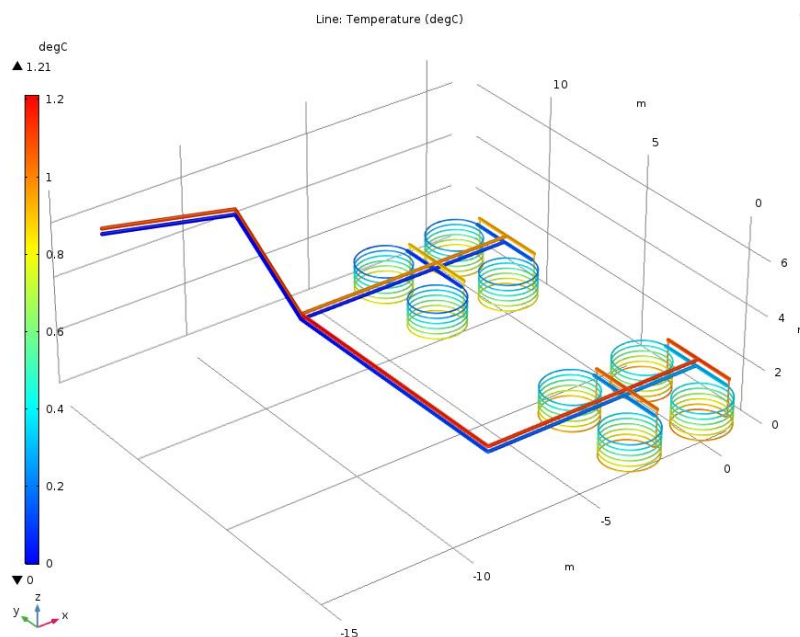


Рисунок 2. Температура теплоносителя на выходе из трубы теплообменника в зимний период (составлено автором)

Для решения возникшей проблемы можно порекомендовать увеличение длины трубопровода теплообменника (подсоединить еще одну секцию труб), или заложить в модели определенные параметры течения воды в водоеме для повышения вынужденной конвекции вокруг труб (т. е. желательно, чтобы водоем был проточным), или подобрать хладагент для ТН с лучшими параметрами кипения, а также заменить в трубопроводе воду на незамерзающую жидкость и др., например, использовать технические рекомендации, изложенные в патентах [9, 10]. Все это также можно заложить в данную модель и найти оптимальное решение.

Заключение

1. Техническим результатом исследований является определение возможностей повышения эффективности бытовых ТН.
2. Проведено моделирование рабочего процесса внешнего теплообменника к бытовым ТН, помещенного в водную среду.
3. Получены численные параметры функционирования внешнего теплообменника в характерные периоды эксплуатации бытового ТН и рекомендации по повышению эффективности.
4. Показано, что программные решения COMSOL Multiphysics позволяют моделировать ТНУ в реальных условиях их эксплуатации.
5. Использование программы позволяет варьировать условия функционирования модели при поиске оптимального решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов С.П. Малая энергетика в России // Теплоэнергетика. – 2009. – №8. – С. 38-42.

2. Васильев Г.П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных установках / Г.П. Васильев, Н.В. Шилкин // АВОК. – 2003. – №2. – С. 52-60.
3. Бондаренко Д.В. Высокотемпературный тепловой насос для нужд отопления, использующий в качестве источника теплоты воды озера Старая Кубань / Д.В. Бондаренко, И.И. Шевчук // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №2-2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21629>, свободный. – Загл. с экрана. – 17.02.18.
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. – 17.02.18.
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. – 17.02.18.
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. – 17.02.18.
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: [//iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012121/pdf](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012121/pdf), свободный. – Загл. с экрана. – 17.02.18.
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. 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-porous-media-flow-for-13383>, свободный. – Загл. с экрана. – 17.02.18.

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

Modeling external heat exchangers to a domestic heat pump using Comsol Multiphysics

Abstract. The article deals with the modeling of external heat exchangers to domestic heat pumps. The practice of using heat pump systems for heating and hot water supply of premises shows that the efficiency of their operation is mainly determined by the stability and sufficiency of low-potential energy sources throughout the year. As such, as a rule, artificial and natural water bodies, rivers and soil accumulated heat energy during the summer period from the sun, and also it can be sewage, etc. Therefore, before installing a heat pump for heating in existing or newly constructed private houses, it is necessary to assess the potential energy capabilities of the reservoir or soil in the relevant area. In other words, presimulation of the external heat exchanger taking into account the parameters of this source of low-potential energy.

We propose a technique for modeling a heat exchanger in an aqueous medium of limited volume, which corresponds to the conditions of operation of small and medium heat pump installations based on COMSOL Multiphysics.

At the same time, the software allows us to simply vary the initial factors when searching for the optimal heat exchanger operation solution.

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

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