

УДК 644.11

DOI: 10.22213/2410-9304-2020-39-46

К методике исследования энергоэффективности различных систем отопления с применением программного обеспечения*

М. В. Свалова, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Е. А. Гринько, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

И. С. Корепанов магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В работе рассматривались системы отопления индивидуального жилого дома на основе теплового насоса, однотрубная горизонтальная, двухтрубная горизонтальная в комбинации с системой «теплый пол», лучевая коллекторная. Приведена методика расчета систем отопления индивидуального жилого дома в Удмуртской Республике с применением программного обеспечения. Представлены достоинства и недостатки каждой из систем и на их основе сделана сравнительная характеристика. Подробно описан функционал программного обеспечения для расчета тепловых потерь здания и для гидравлического расчета систем отопления. Описан принцип работы программного обеспечения. Приведена методология расчета капитальных затрат на реализацию каждой из систем отопления. Представлены принципиальные схемы каждой системы отопления и схема работы теплового насоса. Выявлена наиболее технически и экономически эффективная система отопления. Показана перспективность применения тепловых насосов для отопления индивидуально жилого дома. Установлено, что применение нетрадиционных систем отопления на основе теплового насоса будет способствовать выполнению задачи по обеспечению всеобщего доступа к современным источникам энергии. В работе произведен анализ экологических последствий применения различных систем отопления и на основе этого выявлена экологически безопасная система отопления на основе теплового насоса.

Ключевые слова: система отопления, тепловые насосы, эффективность, программное обеспечение, методика расчета.

Введение

Тенденция использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), к которым относятся солнечная энергия, энергия ветра, биомассы, геотермальная энергия, низкопотенциальное тепло, растет с каждым годом. Технологии использования ВИЭ неуклонно совершенствуются и становятся все более привлекательными и конкурентоспособными. Большой интерес к использованию альтернативных источников энергии во множестве стран связан с повышением цен на традиционные источники энергии, а также с экологической угрозой антропогенного загрязнения окружающей среды. В последнее время внимание к новым источникам энергии с применением энергосберегающих технологий, в том числе с применением тепловых насосов, в России резко возросло [1].

В настоящее время при проектировании систем отопления зданий практикуется установка тепловых насосов, которые используют тепло вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных источников энергии, при этом необходимо рассматривать объект как единое целое.

На ранних стадиях проектирования необходимо добиваться согласованности технических решений по архитектуре, конструкциям инженерных систем с целью выбора оптимальных схем, внедрения энергосберегающих технологий, обеспечивающих минимальные сроки окупаемости дополнительных капитальных затрат.

Системы теплоснабжения с тепловыми насосами проектируются для каждого конкретного объекта в зависимости от почвенно-климатических условий района строительства, стоимости энергоносителей и энергетических нагрузок. Использование тепловой энергии воздуха и энергии солнца в качестве единственных источников низкопотенциальной теплоты малоэффективно, но в комбинации с другими, более стабильными источниками (например, теплотой грунта), возможно. Решение об использовании энергосберегающих теплонасосных систем целесообразно принимать на стадии разработки и утверждения задания на проектирование [2].

Система отопления индивидуального жилого дома должна отвечать множеству требований как по нормативным документам, так и с точки зрения ее энергоэффективности, капиталовложений и трудоемкости. В настоящее время ма-

© Свалова М. В., Гринько Е. А., Корепанов И. С., 2020

* Исследования проводились в рамках научно-практической конференции «Энергетика. Перспективы развития систем водоснабжения и водоотведения–2020».

лозтажное жилищное строительство масштабно развивается, вместе с этим развивается и множество вариантов систем отопления для индивидуального жилого дома, поэтому выбор энергоэффективной системы отопления актуален.

Основная часть

Расчеты, выполненные в лаборатории биотехнологий Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова (ИжГТУ имени М. Т. Калашникова), показывают, что системы отопления индивидуального жилого дома: однотрубная горизонтальная, двухтрубная горизонтальная в комбинации с системой «теплый пол», лучевая коллекторная, – экономически целесообразны для использования на территории Удмуртской Республики.

К методике расчета тепловых потерь

Сумма тепловых потерь через наружные ограждения отапливаемых помещений здания с учетом инфильтрации воздуха и естественной вентиляции определяет тепловую мощность системы отопления.

Расчет тепловых потерь производится в графической программе моделирования Audytor OZC 6.9. Данное программное обеспечение позволяет выполнить тепловой расчет здания на основании алгоритма, разработанного в лаборатории биотехнологий ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (рис. 1).

Площадь ограждений и ориентация здания по сторонам света программа рассчитывает на основе построенной 3D-модели здания. Удельные бытовые теплопоступления в программу допустимо задавать вручную в соответствии с СП 50.13330.2012 (Тепловая защита зданий).

К методике гидравлического расчета систем отопления

Гидравлический расчет систем отопления выполняется с помощью графической программы моделирования Audytor C.O. 6.0 с соблюдением требований, изложенных в СП 60.13330.2020 (Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха).

Программа предназначена для проектирования новых систем отопления, а также для реконструкции существующих.

С помощью программного обеспечения по моделированию систем теплоснабжения Audytor C.O. 6.9 возможно выполнить тепловой расчет, в рамках которого:

- вычисляются требуемые размеры приборов отопления в зависимости от назначенной потребности в тепловой мощности;
- определяется необходимый расход теплоносителя, поступающего в отопительные прибо-

ры с учетом его остывания в трубопроводах, а также теплопоступления от трубопроводов;

- учитывается воздействие остывания теплоносителя в трубопроводах на значение гравитационного давления на отдельных участках, а также на тепловую мощность потребителей тепла.

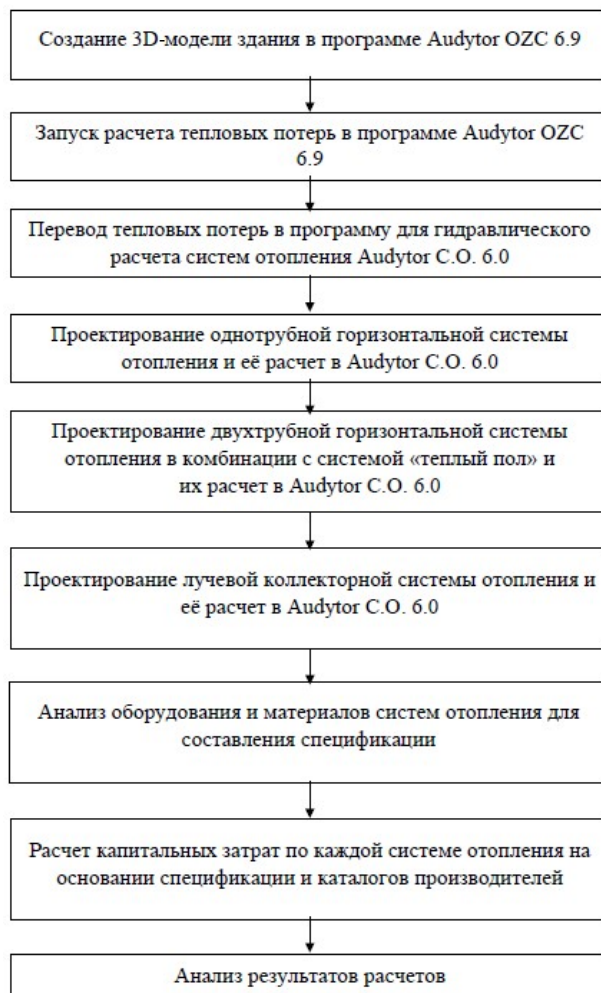


Рис. 1. Алгоритм методики расчета

Данные для программы задаются в графической форме на развернутых плоских схемах и на планах. Необходимая информация вводится в таблицы, связанные с плоской схемой или планом. С каждым элементом связана система проверки правильности задаваемых данных, а также справочная система, позволяющая получить информацию о задаваемой величине или вызвать нужные данные из базы программы.

К методике расчета капитальных затрат

В методике расчета капитальных затрат критерием экономической эффективности является критерий, который характеризует соотношение между достигнутым результатом и материальными затратами. Критерий экономической эффективности зависит от большого числа факто-

ров, в которые входят прибыль, цена, экономия ресурсов. Одним из факторов является экономия ресурсов, экономическое сравнение, выявление системы отопления с наименьшими капитальными вложениями для закупки расходных материалов и оборудования.

Расчет выполнялся ресурсным методом по каталогам производителей [3–5].

Главными отличиями проектируемых систем являются:

- размеры и количество стальных панельных радиаторов;
- тип клапанов, их количество и способы подключения;

- диаметр и метраж трубопроводов;
- количество и диаметр трубопроводных фитингов;
- циркуляционные насосы;
- коллекторные группы;
- балансировочные вентили.

Варианты систем отопления

Однотрубная горизонтальная система отопления – система, в которой теплоноситель циркулирует в магистральной трубе, образующей собой замкнутый контур вдоль стен, который начинается и заканчивается в источнике тепла. Данная система представлена на рис. 2.

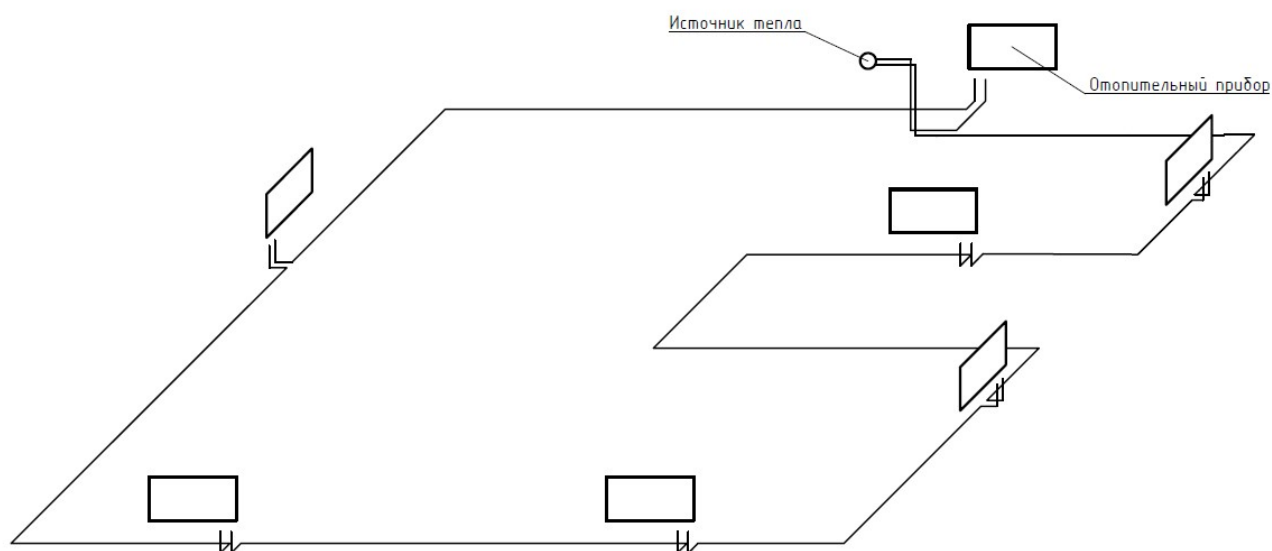


Рис. 2. Однотрубная горизонтальная система отопления

К достоинствам однотрубной горизонтальной системы отопления относится ее надежность, обусловленная наименьшим количеством соединений труб и арматуры, а также простота монтажа системы. К недостаткам однотрубной горизонтальной системы отопления стоит отнести ограниченную возможность регулировки температуры на отопительных приборах и увеличение размеров отопительных приборов по ходу движения теплоносителя из-за его остывания.

Двухтрубная горизонтальная система отопления в комбинации с системой «теплый пол» (рис. 3) предусматривает отопление таких помещений, как кухня, санузел, ванная и гостиная, с помощью системы «теплый пол», а дефицит тепла дополняется за счет двухтрубной системы отопления с горизонтальной разводкой.

Система «теплый пол» – это система обогрева помещения, в которой теплоноситель циркулирует по контуру из труб, находящемуся под напольным покрытием.

К достоинствам «теплого пола» можно отнести: равномерный прогрев помещения по всей площади; отсутствие открытой разводки и уменьшение количества отопительных приборов; тепловая инерционность системы предполагает долгую отдачу тепла при аварийном отключении отопления; отсутствие сухой возгонки пыли из-за невысокой температуры поверхности пола; безопасность из-за отсутствия контакта с трубопроводами и относительно низкой температуры теплоносителя; долгий срок службы, ограничивающийся сроком службы трубы, используемой в системе [6].

Недостатками двухтрубной горизонтальной системы отопления в комбинации с системой «теплый пол» являются: сложный и трудоемкий монтаж; большое гидравлическое сопротивление; долгий прогрев помещений из-за большой теплоемкости системы, в климатических районах с холодными зимами сложно компенсировать все тепловые потери «теплым полом».



Рис. 3. Двухтрубная горизонтальная система отопления в комбинации с системой «теплый пол»

Горизонтальная двухтрубная система отопления – система с тупиковым движением теплоносителя. Подача и отвод теплоносителя от каждого радиатора осуществляется по двум отдельным магистралям. По подающей магистрали нагретая вода из источника тепла раздается всем отопительным приборам, а обратная магистраль собирает остывший теплоноситель и направляет обратно к источнику тепла.

Достоинства двухтрубной горизонтальной системы отопления следующие: подача теплоносителя в каждый отопительный прибор одинако-

вой температуры; при уменьшении расхода теплоносителя через прибор уменьшается расход на всю систему в целом; регулирование теплоотдачи прибора не влияет на другие приборы.

К недостаткам двухтрубной горизонтальной системы отопления относится ее большая материалоемкость и трудоемкий монтаж относительно однотрубной системы отопления.

Лучевая коллекторная система отопления (рис. 4) подразумевает прокладку индивидуальной магистрали к каждому отопительному прибору от коллектора.



Рис. 4. Лучевая коллекторная система отопления

Достоинствами лучевой коллекторной системы отопления являются: возможность регулировки теплоотдачи отопительного прибора в каждой комнате, таким образом тепло в помещениях будет распределяться эффективнее, а энергоносители будут экономиться; независимость приборов отопления друг от друга, что

позволяет легче устранять неполадки на отдельном приборе или участке.

К недостаткам лучевой коллекторной системы отопления можно отнести: большую материалоемкость и сложную наладку системы; высокую стоимость из-за применения специальной регулировочной арматуры на каждую ветвь магистрали, идущую к прибору.

К методике расчета систем теплоснабжения на основе теплового насоса

Благодаря развитию технологий, уже сегодня существует возможность строить объекты с полным автономным обеспечением тепловой и электрической энергией. В системах автономного теплоснабжения жилых домов наибольшую популярность получили тепловые насосы, являющиеся частью отопительных систем или систем кондиционирования зданий. При работе теплового насоса выбросы не производятся, а используемые в системе хладагенты экологически безопасны.

Преимуществом тепловых насосов является то, что сами они не производят тепло, а лишь транспортируют его от источника низкопотенциальной энергии к отапливаемому помещению. Этот принцип позволил добиться высокой эффективности данного метода: средний коэффициент теплопроизводительности, равный отношению производимой тепловой энергии теп-

ловым насосом (ТН) к мощности, потребляемой компрессором, большинства ТН оценивается в районе 400 %. На каждый 1 кВт затрачиваемой электрической энергии потребитель получает на выходе 4 кВт тепловой энергии. Теплонасосные системы теплоснабжения (ТСТ) состоят из тепловых насосов, системы сбора низкопотенциального тепла и традиционных источников тепловой энергии для покрытия пиковых нагрузок. Иногда применяются аккумуляторы тепловой энергии. Такие схемы, как правило, применяются для систем горячего водоснабжения для выравнивания суточной неравномерности потребления горячей воды [7, 8].

На рис. 5 изображена схема одноступенчатого теплового насоса и его цикл в T-S- и P-h-диаграммах. Установка состоит из следующих основных элементов: компрессора КМ, конденсатора К, переохладителя ПО, регулирующего вентиля РВ, испарителя И и отделителя жидкости ОЖ.

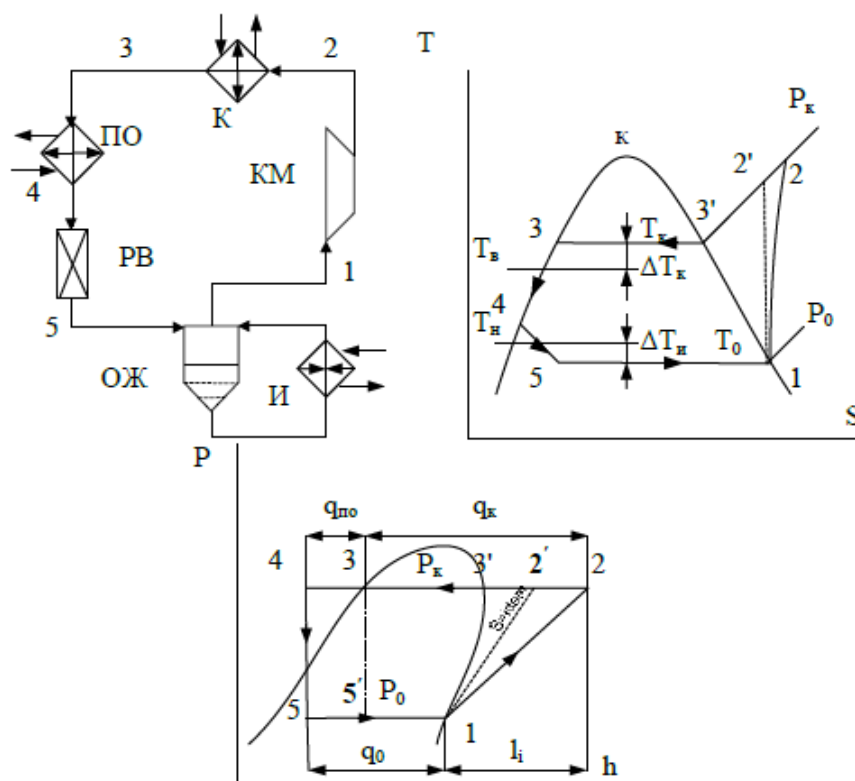


Рис. 5. Схема работы теплового насоса

Цикл установки осуществляется следующим образом. Теплота q_0 , отведенная от охлаждаемого тела, подводится к рабочему агенту в испарителе. В результате подвода теплоты рабочий агент кипит в изобарно-изотермическом процессе 5–1 в испарителе при давлении P_0 и температуре T_0 . Пар из испарителя, пройдя предварительно отделитель жидкости, где он освобождается от капель влаги,

в состоянии точки 1 всасывается в компрессор. В компрессоре за счет подведенной работы пары рабочего агента сжимаются от давления P_0 до P_k с повышением температуры пара от T_1 до T_2 . Действительный процесс сжатия изображен на диаграммах политропой 1–2.

Из компрессора сжатый пар в состоянии точки 2 поступает в конденсатор, где в результате

отвода теплоты q_k к верхнему источнику происходит вначале изобарное охлаждение пара (процесс 2–3'), а затем изобарно-изотермическая конденсация рабочего агента (процесс 3'–3).

После охладителя жидкий рабочий агент проходит через регулирующий вентиль, где в результате дросселирования давление рабочего агента падает от P_k до P_0 , а температура снижается с t_4 до t_0 (изоэнтальпийный процесс 4–5). При этом рабочий агент частично вскипает, поэтому в отделителе жидкости производится отделение жидкой фазы от паровой. Пар из отделителя жидкости направляется во всасывающий патрубок компрессора. Далее жидкий агент поступает в испаритель, и цикл повторяется [9, 10].

При расчете систем теплоснабжения экономия может составить 65–70 %. Эффективность работы теплового насоса оценивают по коэффициенту преобразования тепла (КПТ). Этот показатель отражает количество перекачанной насосом кВт энергии на 1 кВт затраченной электроэнергии. При показателе КПТ от 3 и более можно говорить об энергоэффективности обогревательных устройств.

Существенное влияние на эффективность эксплуатации систем теплового сбора оказывают теплоемкость грунтового массива и его теплопроводность. Чем больше объемная теплоемкость и теплопроводность грунта, тем выше интенсивность удельного теплосъема с единицы длины грунтового теплообменника и, соответственно, выше эффективность системы теплоснабжения. Наиболее существенное влияние на эффективность эксплуатации системы теплоснабжения оказывает изменение теплопроводности грунта в пределах от 0,4–2 Вт/(м·°C) и его объемной теплоемкости от 400–1000 кДж/(м³·°C). Дальнейшее их увеличение сказывается на эффективности системы менее заметно [11]. Следовательно, при эксплуатации систем теплового сбора в малотеплопроводных и нетеплоемких грунтах имеется реальная возможность за счет незначительного повышения влажности грунта значительно повысить эффективность эксплуатации системы теплоснабжения в целом.

Анализ результатов

В работе произведен анализ экологических последствий применения различных систем отопления. При использовании традиционных котлов, сжигающих топливо, всегда образуются различные вредные вещества: фосфорная, азотистая, серная кислоты и бензойные соединения. Загрязняющие вещества оказывают вредное воздействие на человека. Угарный газ вызывает удушье, головные боли, ослабление

дыхания и сердечной деятельности. Двуокись азота способствует росту заболеваний бронхитом. Двуокись серы является токсичным веществом, при длительном воздействии вызывает поражение печени, зубов, системы крови, развитие пневмосклероза. Определение экологического ущерба целесообразно учитывать на основе размера платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Применение теплового насоса экологически безопасно.

В результате технического и экономического сравнения систем отопления выявлены системы с наименьшими капитальными вложениями для закупки расходных материалов и оборудования для реализации системы в Удмуртской Республике. Наименьшие капитальные вложения требует однотрубная горизонтальная система отопления, тогда как двухтрубная горизонтальная система отопления в комбинации с системой «теплый пол» на 47 % дороже однотрубной, а лучевая коллекторная система отопления на 32 % дороже однотрубной системы отопления. Решающим фактором в капитальных затратах являются расходные материалы. Однотрубная горизонтальная система отопления по сравнению с другими системами менее материалоемка, что и определяет ее экономическую эффективность.

Также при малоэтажном жилищном строительстве учитываются источники теплоснабжения, т. к. подключение к теплоснабжающим организациям может быть невозможно из-за дефицита тепловой мощности и экономически не целесообразно из-за строительства протяженных тепловых сетей. Теплоснабжение удаленных населенных пунктов осуществляется посредством использования дорогого завозного дизельного топлива и мазута. Тогда должны рассматриваться проекты установки теплового насоса в конкуренции с другими технологическими решениями и проектами по теплоснабжению. В энергодефицитных регионах по электрической мощности, с одной стороны, внедрение тепловых насосов должно рассматриваться только как перспективное направление, т. к. переход с централизованного отопления на насос может вызвать рост нагрузки на энергосистему в связи с потреблением насосом электроэнергии. С другой стороны, может снизить электрическую нагрузку, используемую потребителями на электроотопление, поэтому применение систем отопления на основе теплового насоса является энергоэффективным направлением применения тепловых насосов для отопления жилых домов.

Выводы

1. Использование энергоэффективных систем отопления на основе теплового насоса в мало-

этажном жилищном строительстве будет способствовать выполнению задачи по обеспечению всеобщего доступа к современным источникам энергии.

2. При применении графических программ моделирования Audytor OZC 6.9 и Audytor CO 6.0, программное обеспечение позволяет выполнить гидравлический и тепловой расчет здания на основании приведенной методики.

3. При проведении анализа капитальных затрат было определено, что экономически эффективной системой отопления индивидуального жилого дома является однотрубная горизонтальная система.

4. Приведенная методика расчета показала, что современные теплонасосные установки являются энергоэффективными и экологически безопасными.

Библиографические ссылки

1. Аналитическое и численное моделирование диффузионных процессов в дымовых трубах теплогенерирующих установок / Д. А. Хворенков, О. И. Варфоломеева, А. Э. Пушкарев, Д. Н. Попов // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2019. Т. 22. № 3. С. 82–89.

2. Крупнов Б. А., Шарафудинов Н. С. Руководство по проектированию систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Москва ; Вена, 2008. С. 220.

3. Каталог насосов Grundfos: [Электронный ресурс] // Grundfos Product Center. М. URL: <https://product-selection.grundfos.com> (дата обращения: 02.04.2020).

4. Каталог Henco 2020: [Электронный ресурс] // Официальный сайт Henco Россия. М. URL: http://henco-club.ru/catalog_2020/ (дата обращения: 02.04.2020).

5. Оборудование и материалы для систем отопления, водоснабжения и водоотведения: [Электронный ресурс] // Lunda. М., 2007–2020. URL: <https://lunda.ru> (дата обращения: 2.04.2020).

6. Свалова М. В., Кольцов Е. Н. Анализ и применение геотермального зонда теплового насоса // Результаты прикладных и поисковых научных исследований в сфере естествознания и технологий : сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, г. Белгород, 27 декабря 2019 г. Белгород : Агентство перспективных научных исследований, 2020. С. 117–120.

7. Попов Д. Н., Лебедева А. А., Желтышева В. Г. Энергоэффективные варианты установок для подогрева нефти с промежуточным теплоносителем // Энергоресурсосбережение в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе : материалы регионального научно-практического семинара. 2016. С. 42–47.

8. Варфоломеева О. И., Хворенков Д. А., Попов Д. Н. Проведение технической экспертизы отопительного

агрегата и его системы дымоудаления с помощью численного моделирования гидродинамических и тепло-массообменных процессов // Технологии водоснабжения и водоотведения : сборник статей II Русско-немецкой летней школы по проблеме водоснабжения и водоотведения населенных мест. 2019. С. 132–138.

9. Свалова М. В., Белоусов Р. С., Галимьянов Р. Г. Применение принципа самокупаемости по энергосбережению на предприятиях Удмуртии // Проблемы региональной экологии и географии : сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию конструктора М. Т. Калашникова и 100-летию профессора С. И. Широкова. Ижевск : Удмуртский университет, 2019. С. 66–68.

10. Абрамова А. А., Исаков В. Г., Непогодин А. М. Зеленые технологии в очистке поверхностных и сточных вод объектов ЖКХ // Технические университеты: интеграция с европейскими и мировыми системами образования : материалы VIII Междунар. конф.: в 2 т. Т. 1. Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2019. С. 460–465.

11. К расчету параметров распространения угарного газа от котла индивидуальной системы отопления частного жилого дома / Л. В. Алексева, О. И. Варфоломеева, Д. А. Хворенков, Д. Н. Попов // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика : материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений. Екатеринбург : Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2018. С. 65–69.

References

1. Khvorenkov D. A., Varfolomeeva O. I., Pushkarev A. E., Popov D. N. [Analytical and numerical modeling of diffusion processes in the flues of heat generating plants]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*. 2019. Vol. 22. No. 3. Pp. 82-89 (in Russ.).

2. Krupnov B. A., Sharafadinov N. S. Guide to the design of heating, ventilation and air conditioning systems. Moscow-Vienna, 2008. 220 p. (in Russ.).

3. Catalog of reflex expansion tanks: [Electronic resource] // Official website of Reflex Russia. Moscow. URL: <https://www.reflex-winkelmann.com/ru/> (accessed date: 02.04.2020) (in Russ.).

4. Catalog Henco 2020: [Electronic resource] // Official website of Henco Russia. Moscow. URL: <http://henco-club.ru/catalog2020/> (accessed date: 02.04.2020) (in Russ.).

5. Equipment and materials for heating, water supply and sanitation systems: [Electronic resource] // Lunda. Moscow, 2007-2020. URL: <https://lunda.ru> (date of request: 2.04.2020) (in Russ.).

6. Svalova M. V., Koltsov E. N. *Analiz i primeneniye geotermal'nogo zonda teplovogo nasosa* [Analysis and application of a geothermal heat pump probe]. [Proc. Results of applied and search scientific research in the field of natural science and technology: Collection of scientific papers

on the materials of the international scientific and practical conference Belgorod], December 27, 2019: Publishing house of the Agency for advanced scientific research (APNI) Belgorod, 2020. Pp. 117-120 (in Russ.).

7. Popov D. N., Lebedeva A. A., Zheltysheva V. G. *Energoeffektivnye varianty ustanovok dlya podogreva nefii s promezhutochnym teplonositelem* [Energy-Efficient variants of installations for heating oil with an intermediate heat carrier]. *Energoresursosberezhenie v promyshlennosti, zhilishchno-kommunal'nom khozyaistve i agropromyshlennom komplekse : materialy regional'nogo nauchno-prakticheskogo seminar* [Proc. Energy saving in industry, housing and utilities, and agro-industrial complex. Materials of the regional scientific-practical seminar]. 2016. Pp. 42-47 (in Russ.).

8. Varfolomeeva O. I., Khvorenkov D. A., Popov D. N. *Provedenie tekhnicheskoi ekspertizy otopitel'nogo agregata i ego sistemy dymoudaleniya s pomoshch'yu chislennogo modelirovaniya gidrodinamicheskikh i teplomas-soobmennykh protsessov* [Technical expertise of the heating unit and its smoke removal system using numerical modeling of hydrodynamic and heat and mass transfer processes]. *Tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya : sbornik statei II Russko-nemetskoj letnei shkoly po probleme vodosnabzheniya i vodootvedeniya naselennykh mest* [Water supply and sanitation technologies. Collection of articles of the II Russian-German summer school on the problem of water supply and sanitation of localities]. 2019. Pp. 132-138 (in Russ.).

9. Svalova M. V., Belousov R. S., Galimyanov R. G. *Primenenie printsipa samookupaemosti po energosberezheniyu na predpriyatiyakh Udmurtii* [Application of the principle of self-sufficiency in energy saving at the enterprises of Udmurtia]. *Problemy regional'noi ekologii i geografii : sbornik statei mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu konstruktora M. T. Kalashnikova i 100-letiyu professora*

S. I. Shirobokova [Proc. Problems of regional ecology and geography: Collection of articles of the international scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the designer M. T. Kalashnikov and the 100th anniversary of Professor S. I. Shirobokov]. Izhevsk: Udmurt University Publishing center, October 7-10, 2019-Pp. 66-68 (in Russ.).

10. Abramova A. A., Isakov V. G., *Nepogodin a.m. Zelenye tekhnologii v ochistke poverkhnostnykh i stochnykh vod ob"ektov ZhKKh* [Green technologies in the treatment of surface and waste water of housing and utilities facilities]. *Tekhnicheskie universitety: integratsiya s evropeiskimi i mirovymi sistemami obrazovaniya : materialy VIII Mezhdunar. konf.: v 2 t. T. I.* [Proc. Technical universities: integration with European and world education systems materials of the VIII international conference. in 2 vols. Vol. 1]. Izhevsk, Izd-vo IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2019. Pp. 460-465 (in Russ.).

11. Alekseeva L. V., Varfolomeeva O. I., Khvorenkov D. A., Popov D. N. *K raschetu parametrov rasprostraneniya ugarnogo gaza ot kotla individual'noi sistemy otopleniya chastnogo zhilogo doma* [To calculate the parameters of carbon monoxide distribution from the boiler of an individual heating system of a private residential building]. *Energo- i resursosberezhenie. Energoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovlyaemye istochniki energii. Atomnaya energetika : materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh, posvyashchennoi pamyati prof. Danilova N. I. (1945–2015) – Danilovskikh chtenii* [Energy and resource saving. Energy supply. Non-traditional and renewable energy sources. Nuclear energy. materials of the International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists dedicated to the memory of Prof. Danilova N. I. (1945-2015) - Danilovsky readings]. Ekaterinburg, Ural'skii federal'nyi universitet imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. El'tsina. 2018. Pp. 65-69 (in Russ.).

On the Method of Studying the Energy Efficiency of Various Heating Systems Using Software

M. V. Svalova, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

E. A. Grinko, Senior Lecturer, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

I. S. Korepanov, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The paper considers heating systems for individual residential buildings based on a heat pump, horizontal single-pipe, horizontal two-pipe in combination with the "Underfloor heating" system, and a beam collector system. The method of calculation of heating systems of an individual residential building in the Udmurt Republic using software is given. Each system's advantages and disadvantages are presented, and a comparative characteristic is made based on them. The software's functionality for calculating heat losses of buildings and for hydraulic calculation of heating systems is described in detail. The software operation principle is described. The methodology for calculating capital expenditures for the implementation of each of the heating systems is given. Schematic diagrams of each heating system and the operation of the heat pump are presented. The most technically and cost-effective heating system has been identified. The prospects of using heat pumps for heating an individual residential building are shown. It is established that the use of non-traditional heating systems based on a heat pump will contribute to the task of ensuring universal access to modern energy sources. The paper analyzes the environmental consequences of using various heating systems and, based on this, identifies an environmentally safe heating system based on a heat pump.

Keywords: heating system, heat pumps, efficiency, software, calculation method.

Получено: 27.07.2020