

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

2023, Том 15, № 4 / 2023, Vol. 15, Iss. 4 <https://esj.today/issue-4-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/39SAVN423.pdf>

2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Ильина, Т. Н. Возобновляемые и вторичные источники энергии инженерных систем при эксплуатации и реконструкции зданий и сооружений / Т. Н. Ильина, Н. Ю. Саввин, О. А. Аверкова, К. И. Логачев // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/39SAVN423.pdf>

**For citation:**

Il'ina T.N., Savvin N.Yu., Averkova O.A., Logachev K.I. Renewable and secondary energy sources of engineering systems in the operation and reconstruction of buildings and structures. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(4): 39SAVN423. Available at: <https://esj.today/PDF/39SAVN423.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

*Статья написана в порядке выполнения служебного задания по гранту Пф-4/22 (р) «Повышение эффективности воздушного теплового насоса с системой MOVEBIT» в рамках Программы развития «Приоритет 2030» при содействии Центра трансфера инновационных технологий БГТУ имени В.Г. Шухова*

**УДК 697.11**

**Ильина Татьяна Николаевна**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия  
Профессор кафедры «Теплогасоснабжения и вентиляции»  
Доктор технических наук  
E-mail: [ilinatat50@mail.ru](mailto:ilinatat50@mail.ru)

**Саввин Никита Юрьевич**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия  
Доцент кафедры «Теплогасоснабжения и вентиляции»  
Кандидат технических наук  
E-mail: [n-savvin@mail.ru](mailto:n-savvin@mail.ru)

**Аверкова Ольга Александровна**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия  
Профессор кафедры «Теплогасоснабжения и вентиляции»  
Доктор технических наук  
E-mail: [n-savvin@mail.ru](mailto:n-savvin@mail.ru)

**Логачев Константин Иванович**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия  
Профессор кафедры «Теплогасоснабжения и вентиляции»  
Доктор технических наук  
E-mail: [n-savvin@mail.ru](mailto:n-savvin@mail.ru)

## **Возобновляемые и вторичные источники энергии инженерных систем при эксплуатации и реконструкции зданий и сооружений**

**Аннотация.** Авторами показана актуальность использования возобновляемых источников энергии для теплоснабжения систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха зданий и сооружений. Рассмотрены системы преобразования энергии с помощью тепловых насосов различного типа. Представлен принцип действия парокомпрессионных холодильных установок. Дана сравнительная характеристика, достоинства и недостатки теплонасосных установок: геотермальных, водяных, воздушных. Показана тенденция

применения тепловых насосов в различных странах. В настоящее время наибольшее распространение имеют геотермальные установки, которые имеют высокий коэффициент преобразования тепловой энергии, но характеризуются более высокими капитальными и эксплуатационными затратами по сравнению с воздушными тепловыми насосами. Воздушные тепловые насосы представляют собой наиболее экономически и экологически целесообразный способ использования тепловой энергии. Однако их применение ограничено в странах с холодным климатом, так как в испарительном блоке возможно образование инея и наледи, для удаления которых требуются дополнительные затраты энергии, что снижает их эффективность. Дан анализ различных способов борьбы с обморожением, показана перспективность использования механических колебаний для разрушения наледи. Рассмотрены примеры комплексного применения воздушных тепловых насосов в системах отопления и рекуперации воздуха жилых и производственных помещений. Для обеспечения требуемого воздухообмена небольших помещений, например, торговых комплексов, целесообразно применение кондиционеров сплит-систем канального типа с приточной вентиляцией. Применение рассмотренных систем теплоснабжения, вентиляции и рекуперации воздуха с использованием возобновляемых источников энергии позволит управлять жизненным циклом объектов капитального строительства с учетом технических, экономических и экологических рисков.

**Ключевые слова:** теплонасосные установки; коэффициент преобразования энергии; наледь; испарительный блок; кондиционеры сплит-систем; массообмен; пароконденсационного цикл

## Введение

Создание и поддержание комфортно-технологических условий в помещениях жилых и производственных зданий имеют важное значение не только для людей и проведения технологического процесса, но и для обеспечения качества и надежности строительных систем. При проектировании объектов капитального строительства учитывают климатические условия региона, проводят обоснованный подбор материалов наружных ограждений на основании теплотехнического расчета, обеспечивающего требуемое сопротивление теплопередачи, назначение помещений и т. п. Требуемые параметры микроклимата обеспечивают инженерные системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха. Резкие колебания температуры, относительной влажности воздуха подвижности воздуха внутри помещения могут сопровождаться конденсацией паров влаги на стенах, образованием плесени, изменением бактериологической обстановки и разрушением материала ограждений. Все это в конечном итоге влияет на жизненный цикл не только людей, но и объектов строительства. Поэтому при проектировании строительных объектов необходим мониторинг способов теплоснабжения инженерных систем в условиях ограниченной доступности тепловых ресурсов, а также систем обеспечения параметров микроклимата, то есть создание требуемого тепло-воздухо- и массообмена.

## Методы

Традиционные источники теплоснабжения в инженерных системах включают в себя использование газа, нефти, угля, дров и других видов топлива, которые имеют как достоинства, так и недостатки.

Достоинства:

1. Надежность: традиционные источники теплоснабжения обычно имеют длительный срок службы и малую вероятность отказов, что делает их надежными для использования в инженерных системах.

2. Доступность: традиционные источники теплоснабжения широко доступны и распространены, что облегчает их использование.
3. Эффективность: некоторые традиционные источники, такие как газ и нефть, имеют высокую тепловую эффективность, что позволяет эффективно использовать энергию при обогреве или охлаждении.

Недостатки:

1. Ограниченность ресурсов: традиционные источники теплоснабжения основаны на использовании природных ресурсов, таких как нефть и газ, которые являются ограниченными и могут быть исчерпаны в будущем.
2. Вредная экология: сжигание топлива, такого как уголь и нефть, приводит к выбросам вредных веществ и парниковых газов, что негативно сказывается на окружающей среде и климате.
3. Высокая стоимость: некоторые традиционные источники теплоснабжения, такие как нефть и газ, могут быть дорогими в использовании, особенно в случае нестабильности цен на энергоресурсы.
4. Зависимость от импорта: многие страны зависят от импорта топлива для обеспечения своих потребностей в теплоснабжении, что может быть проблематичным в случае геополитических или экономических конфликтов.

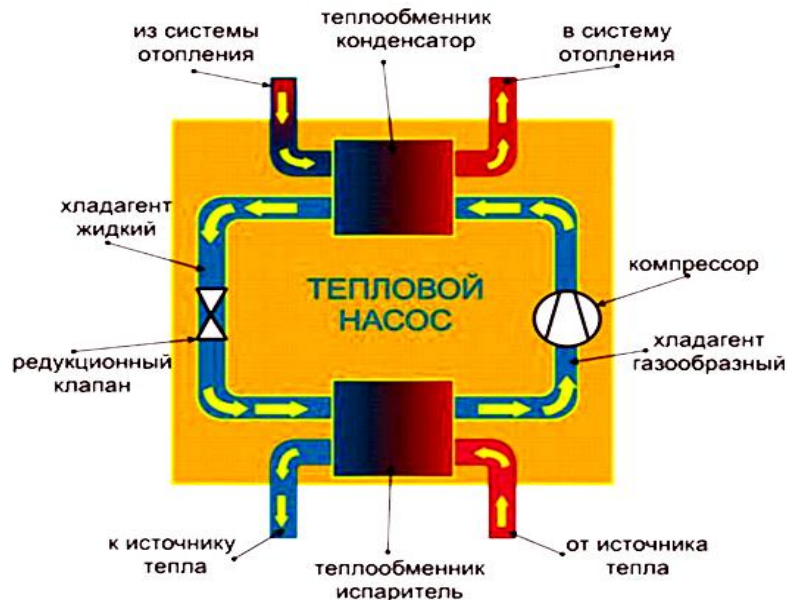
В целом, традиционные источники теплоснабжения имеют свои преимущества и недостатки, и выбор оптимального источника должен основываться на учете конкретных условий и требований инженерной системы.

Использование энергии земли, воды, солнца, воздуха и вторичного тепла технологических процессов в системах теплоснабжения имеет ряд экологических преимуществ:

1. Энергия земли (геотермальная энергия) является чистым источником тепла. Она получается из глубин земли, где температура постоянно выше, чем на поверхности, и может быть использована для отопления и горячего водоснабжения без дополнительного выброса CO<sub>2</sub> или других вредных веществ в атмосферу.
2. Энергия воды (гидроэнергия) также является экологически чистым источником тепла. Она получается из движения воды в реках, потоках или приливном движении, и может быть использована для генерации электроэнергии и обогрева.
3. Солнечная энергия является одним из наиболее доступных источников возобновляемой энергии. Она получается из солнечного излучения и может быть преобразована в электричество или использована для нагрева воды. Использование солнечной энергии в системах теплоснабжения позволяет значительно снизить выбросы парниковых газов и зависимость от нефти и газа.
4. Энергия воздуха (аэроэнергия) может быть использована для нагрева или охлаждения воздуха в зданиях. Воздушные тепловые насосы используют тепло из окружающей среды и преобразуют его в тепловую энергию для отопления или охлаждения, что позволяет существенно снизить потребление энергии.
5. Вторичное тепло, получаемое в результате технологических процессов, также может быть использовано для нагрева или охлаждения воздуха или воды в системах теплоснабжения. Это позволяет снизить потребление энергии и уменьшить выбросы вредных веществ.

Все эти источники энергии являются возобновляемыми и экологически чистыми, что помогает снизить выбросы парниковых газов и вредных веществ, улучшить качество воздуха и воды, а также снизить зависимость от нефти и газа. Таким образом, использование этих источников энергии в системах теплоснабжения является экологически целесообразным решением [1–5].

Все тепловые насосы несмотря на их разнообразие работают на одном принципе: аккумулятирование тепла в испарителе при испарении хладагента и отдачи его конденсатором при конденсации. Более детально процесс переноса тепла рассмотрен на рисунке 1. Газообразный хладагент после испарителя поступает в компрессор, в компрессоре происходит его сжатие, при сжатии механическая энергия посредством совершения работы превращается в тепловую, поступая в теплообменник – конденсатор. Горячий хладагент поступает в теплообменник, превращаясь из пара в жидкость, изменяя свое агрегатное состояние. Жидкий хладагент под большим давлением проходит дросселирующее устройство (редукционный клапан) и поступает в испаритель, испытывая резкое снижение давления. Жидкость закипает за счет поглощения тепла из определенного источника низкотемпературного контура (земля, вода, воздух). Перегретый хладагент через всасывающий патрубок в виде пара вновь поступает в компрессор и процесс повторяется. Перенос тепла совершается за счет работы компрессора [6–9].



**Рисунок 1.** Принципиальная схема теплового насоса парокompрессионного цикла (<http://www.альтэнергия.рф/shop/teplovye-nasosy>)

Важнейшим показателем, определяющим производительность теплового насоса, является COP-(Coefficient of Performance) — коэффициент преобразования рассчитывается по формуле:

$$COP = \frac{Q}{E}, \quad (1)$$

где Q — мощность вырабатываемой тепловой энергии (кВт); E — мощность потребляемой тепловой энергии (кВт).

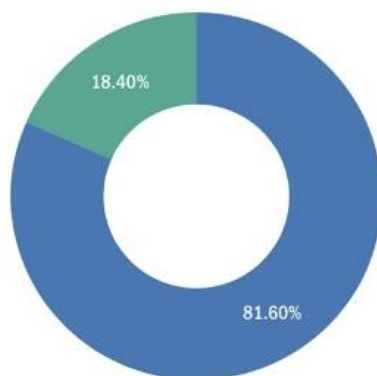
При прямом преобразовании электрической энергии в тепло COP всегда ниже единицы, при производстве тепла тепловым насосам COP выше единицы, это происходит в следствие того, что работа, на которую затрачивается энергия E, идет на преобразование низкопотенциальной энергии в высокопотенциальную энергию.

В качестве низко потенциальных источников энергии возможно использование вторичных и нетрадиционные возобновляемые источники энергии. К вторичным источникам энергии принадлежат теплота вентиляционных выбросов, канализационных стоков, теплота выбросов технологических процессов. К нетрадиционным возобновляемым источникам энергии, помимо воздуха, относятся такие как: теплота грунтовых и геотермальных вод, теплота водоемов, тепло солнечной энергии, тепло поверхности земли и глубоких слоев. Соответственно, существуют различные типы теплонасосных установок: геотермальные, водяные, воздушные ТНУ [10].

Весьма распространенный источник тепла для теплового насоса является почва земельного участка, куда укладывают контур, на глубину приблизительно на 1 м ниже глубины промерзания. Минимальное расстояние между соседними трубопроводами обычно должно составлять 0,8–1 м. Специальной подготовки почвы установка теплового насоса не требует, но эффективность его возрастает при прокладке на участке с влажным грунтом, идеально с близкими грунтовыми водами. Ориентировочная тепловая мощность на 1 метр трубопровода составляет 20–30 Вт. Таким образом, тепловой насос производительностью 10 кВт потребует земляной контур длиной 350–450 метров, то есть участок земли площадью около 400 кв. метров. Прокладка требует значительных земельных работ, протяженность трубопровода зависит от производительности теплового насоса и теплотехнических характеристик грунта его влажности [11–13].

Теплосъемные показатели грунта варьируются от 10 Вт/м<sup>2</sup> — сухая песчаная почва до 35 Вт/м<sup>2</sup> — почва с грунтовыми водами. Тепловой насос целесообразно использовать в основном на небольших отдельно стоящих объектах с земельными участками. Проектирование подобной системы отопления лучше всего производить вместе с проектированием объекта.

Несмотря на дорогие работы по устройству подземных коллекторов низкая эффективность тепловых насосов воздух-вода вынуждает потребителя идти на первоначальные большие затраты с перспективой получения низких счетов за электроэнергию. Мировая тенденция роста цен на энергоресурсы выводит земляные и водяные тепловые насосы в лидеры продаж. Как видно на рисунке 2, в странах Европы и Скандинавии преобладают геотермальные тепловые насосы в системах отопления.<sup>1</sup>

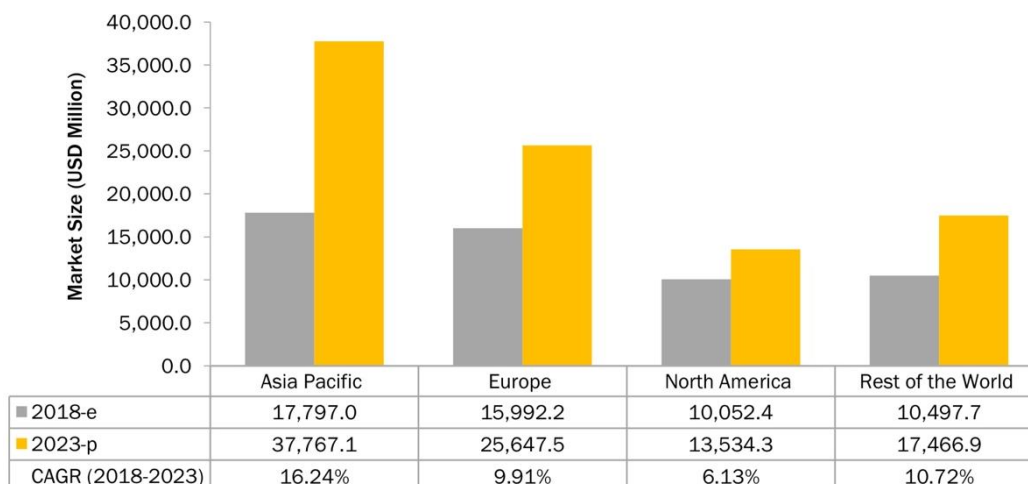


■ — земля-вода; ■ — воздух-вода

**Рисунок 2.** Использование теплонасосных установок в системах отопления в домохозяйствах северной Европы и Скандинавии (составлено авторами на основе данных: <https://sip-panels.ru/opyt-severnyh-stran-uteplenie-v-skandinavii/>)

<sup>1</sup> Отчет рынка тепловых насосов Размер, доля, рост и тенденции (2022–2027 годы) <https://mordorintelligence.com/ru/industry-reports/heat-pumps-market>.

Следует отметить мировую тенденцию увеличения доли тепловых насосов в системах теплоснабжения, причем наибольший рост наблюдается в странах Азии, где зимний период отличается более высокими температурами и не опускаются ниже 0°C (рис. 3).



**Рисунок 3.** Рынок тепловых насосов по регионам 2018–2023 г.

(млрд долларов США) (составлено авторами на основе данных:

<https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/heat-pumps-market>)

На диаграмме видно доминирование рынка воздушных тепловых насосов в странах Азиатско- тихоокеанского региона с долей 32,8 %.

Воздушные тепловые насосы (ВТН) имеют ряд преимуществ по сравнению с геотермальными и водяными установками. Установка ВТН не требует разрешения контролирующих организаций, не наносит экологический вред окружающей среде, не нарушает грунтовые водоносные слои, а также естественную циркуляцию воды в водоемах.

Воздушные тепловые установки имеют двойное назначение, помимо отопления в холодный период ВТН могут использоваться для кондиционирования воздуха в помещениях.

При больших сроках эксплуатации установки требуют минимального обслуживания, в основном это сводится к замене фильтров или к чистке наружного блока от пыли, листьев и пуха [14]. Ввиду отсутствия горючих и взрывоопасных источников получения тепла установки пожаробезопасны. Что касается электрических компонентов оборудования, они имеют многоуровневые системы защиты и при правильном монтаже и соблюдении сроков технического обслуживания опасность возгорания сведена к минимуму.

Большая ремонтпригодность, это связано с тем, что в процессе работы ВТН источником низкопотенциальной энергии является воздух, соответственно вероятность нарушения герметичности трубопроводов минимальна по сравнению с геотермальными и водяными тепловыми насосами. Высокая автономность работы дает возможность управлять режимами отопления и кондиционирования удаленно, что особенно важно не только для повышения мобильности жильцов, но и служб технической поддержки.

Сравнительно низкая стоимость оборудования и монтажных работ делает ВТН наиболее бюджетным вариантом из существующих систем, основанных на трансформации низкопотенциального тепла [15–18].

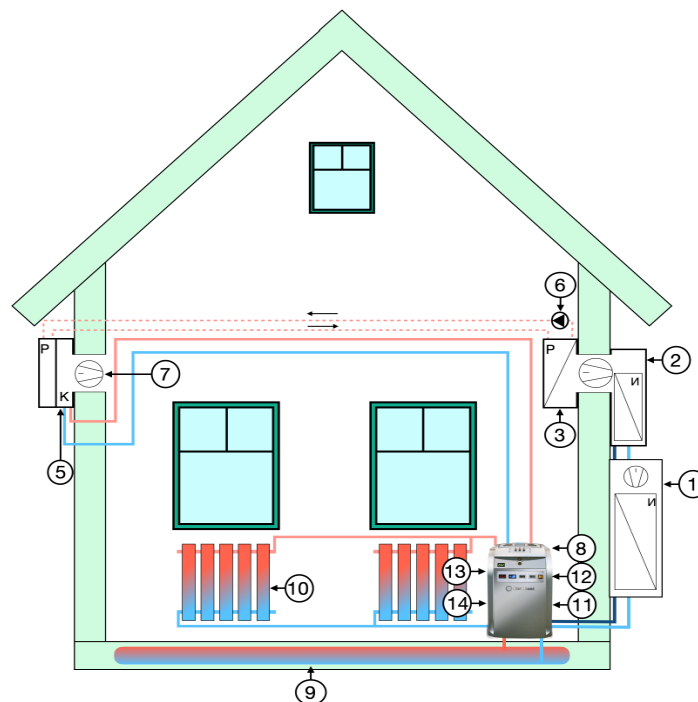
Однако воздушные тепловые насосы (ВТН) наименее распространены в странах с холодным зимним периодом. Причина их низкой популярности имеет ряд существенных причин, а именно образование инея и ледяной корки в испарительном блоке, для удаления которой требуются значительные затраты дополнительной энергии [19]. Наиболее

экономически целесообразным является способ разрушения и удаления наледи с помощью механических колебаний, создаваемых магнитострикционным излучателем, установленным на поверхности теплообменника [20]. Это позволяет использовать ВТН в странах с холодным климатом, в том числе и в России, не только в системах отопления, но и при подготовке воздуха вентиляционных систем и рекуперации тепла [21].

Для небольших помещений с малыми тепловыми нагрузками можно использовать кондиционеры сплит-систем с приточной вентиляцией, которые дополнительно имеют калорифер для подогрева воздуха в холодный период и охлаждения воздуха в теплый период. Внутренний блок кондиционера располагается за подшивным потолком, дополнительно содержит смесительную камеру, воздухопровод, и может работать в режиме теплового насоса [22].

### Результаты

Перспективным является разработанный нами комплексный способ применения теплонасосной установки для отопления, вентиляции и рекуперации воздуха [23]. Вариант комплексной системы представлен на рис.4, может быть использован для домов коттеджного типа. Особенно актуален данный вариант для загородной застройки, не имеющей традиционной системы теплоснабжения. В этом случае решается также задача кондиционирования воздуха: нагревание воздуха в холодный период и охлаждение в теплый период года.



**Рисунок 4.** Вариант реализации комплексной системы отопления и рециркуляции воздуха (составлено авторами на основе данных: <https://housechief.ru.turbopages.org/housechief.ru/s/vozdushnoe-otoplenie-chastnogo-doma.html>; <https://oknaevrovid.ru/otoplenie-chastnogo-doma-s-retsirkulyatsiey/>)

Установка работает следующим образом. В испарителе (1) первого контура происходит испарение хладагента. Газообразный хладагент поступает в компрессор (12), который сжимает хладагент в газообразном состоянии, повышая его температуру и давление. Газ при температуре  $\approx 65^{\circ}\text{C}$  поступает в теплообменник (хладагент — вода) конденсатора (11). Отведенное тепло по водопроводу поступает на радиаторы отопления (10) и теплый пол (9), а

также на фанкойл (5) для обогрева приточного воздуха (зимний режим работы) или охлаждения (летний режим работы).

Циркуляция теплоносителя осуществляется при помощи насоса (8). Переохлаждённый хладагент через дроссельное устройство (13) поступает на наружный блок испарителя (1) первого контура. Второй трубопровод с хладагентом поступает на испаритель (2) второго контура через дросселирующее устройство (14).

Испаритель (2) второго контура размещен в канале вытяжного воздуха, в котором происходит дополнительный отбор тепла после теплообменника (3), который является частью рекуперационной системы «Вода-Воздух». Нагретая вода, содержащая 25 % гликоля, за счет удаляемого из помещения воздуха при помощи насоса (6) поступает в теплообменник (4), который находится в приточном канале перед фанкойлом (5). Воздушный поток создается при помощи осевых вентиляторов — приточного вентилятора (7) и вытяжного вентилятора (16). Подготовленный воздух поступает в помещение (19). Для охлаждения воздуха в теплый период предусмотрена работа теплового насоса по холодильному циклу с реверсом движения хладагента в обратном направлении.

### Рекомендации

В результате проведенного исследования можно составить алгоритм рекомендаций по выбору источника теплоснабжения:

1. Определение потребностей и условий: Определите общие потребности в тепле вашего дома или здания и учтите факторы, такие как площадь помещения, климатические условия, изоляция, количество и тип используемого оборудования и т. д.
2. Исследование возможных источников тепла: Рассмотрите различные варианты источников тепла, такие как газовые, электрические или древесные котлы, тепловые насосы, солнечные коллекторы и т. д.
3. Анализ доступности ресурсов: Учтите наличие доступных ресурсов, таких как газовые или древесные запасы, подключение к электричеству или наличие солнечной экспозиции для солнечных коллекторов.
4. Оценка экологических и экономических аспектов: Разберитесь, какой тип источника тепла наиболее эффективен с точки зрения экологии и экономии средств. Учтите стоимость инициализации, эксплуатацию и обслуживание.
5. Расчет срока окупаемости: Рассчитайте, через какое время выбранный источник тепла окупит свою стоимость в сравнении с другими альтернативами.
6. Выбор источника тепла: Проанализируйте полученную информацию и выберите наиболее подходящий источник теплоснабжения, учитывая все рассмотренные факторы.
7. Установка и настройка: После выбора источника тепла, обратитесь к профессиональным специалистам для его установки и настройки в соответствии с требованиями и рекомендациями производителя.
8. Регулярное обслуживание и мониторинг: Обеспечьте регулярное обслуживание вашего источника тепла и мониторинг его работы, чтобы сохранить его оптимальную производительность и продолжительность службы.



Запомните, что выбор источника теплоснабжения должен быть основан на конкретных потребностях и условиях вашего дома или здания, поэтому рекомендуется источники теплоснабжения использовать в соответствии с рисунком 5.



*Рисунок 5. Рекомендации по выбору источника теплоснабжения*

### Выводы

Применение теплонасосных установок является перспективной альтернативой для традиционных источников теплоснабжения, особенно в условиях ограничения доступности ресурсов, возможных технических и экологических рисков. Проектирование ТНУ желательно проводить на стадии разработки проекта строительного объекта, как дополнительный (запасной) источник теплоснабжения инженерных систем. При реконструкции зданий с введением в эксплуатацию дополнительных помещений использование теплонасосных установок, особенно воздушных, позволит увеличить жизненный срок строительного объекта с минимальными экономическими затратами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Богуславский, Э.И. / Использование геотермальной энергии для целей теплоснабжения // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». 2010. № 3.
2. Рей, Д. / Тепловые насосы: Пер. с англ. / Д. Рей, Д. Макмайкл // М.: Энергоиздат, 1982. 224 с., ил.
3. Rybach, L., Sanner B. Ground-source heat pump systems — the European experience. GeoHeatCenter Bull. 21/1, 2000.
4. Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options / Stuart J. Self, Bale V. Reddy, Marc A. Rosen / Volume 101, January 2013, Pages 341–348.
5. A Review of the Benefits of Geothermal Heat Pump Systems in Retail Buildings / Jeffrey Molavi, James McDaniel / Volume 145, 2016, Pages 1135–1143.
6. Ground-source heat pumps systems and applications / Abdeen Mustafa Omer / Volume 12, Issue 2, February 2008, Pages 344–371.
7. Advances in heat pump systems: A review / K.J. Chua, S.K. Chou, W.M. Yang / Volume 87, Issue 12, December 2010, Pages 3611–3624.

8. Васильев Г.П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных установках / Г.П. Васильев, Н.В. Шилкин // АВОК. — 2003. — № 2 — С. 52–60.
9. Гарипов, М.Г. Использование низкопотенциального тепла земли с помощью теплового насоса / М.Г. Гарипов, В.М. Гарипов // Вестник Казанского технологического университета — 2014. — No 6 — С. 197–198.
10. Гетман, В.В. Применение теплонасосных установок для утилизации теплоты вторичных энергетических ресурсов / В.В. Гетман // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — No 2 — С. 233–236.
11. Васильев Г.П., Горнов В.Ф., Константинов П.И., Колесова М.В., Корнева И.А. Анализ изменения температуры грунта на основе многолетних измерений // Инженерно-строительный журнал. — 2017. — No 4(72). — С. 62–72.
12. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли. М.: ИД «Граница», 2006. — 176 с.
13. Тимофеев, Д.В. Энергетическая и экономическая оценка круглогодичного поддержания теплового микроклимата в здании теплонасосной системой теплохолодоснабжения с грунтовым теплообменником / Е.Г. Малявина, Д.В. Тимофеев, Ю.Н. Левина // Бюллетень строительной техники — 2018. No 6 — С. 54–56.
14. Разработка инновационных технических решений в системах холодо- и теплоснабжения центральных и местных СКВ Ежов В.С., Семичева Н.Е., Дюкарев А.А., Грэдинарь Е.Н., Шевченко И.М. В сборнике: Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее. сборник научных статей 2-й Всероссийской научной конференции. Юго-Западный государственный университет; Московский политехнический университет; Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева. 2019. С. 183–187.
15. Орлов П.А., Уваров В.А., Ильина Т.Н., Орлова В.А., Орлов К.П., Орлов С.П. Влияние установки и использования геотермальных теплонасосов на экологию // Межвузовский международный конгресс. Высшая школа: научные исследования. Москва. 10 декабря 2020 г. — Москва: Издательство Инфинити. 2020. Том 1 С. 136–147. DOI 10.34660/INF.2020.35.61.024.
16. Орлов П.А., Ильина Т.Н., Орлов К.П. Воздействие механических колебаний на обледенение испарителей воздушного теплового насоса // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2021. Т 6. № 6. С. 36–44. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-6-36-44.
17. T.N. Pina, P.A. Orlov, A.V. Chizhov. Influence of material structure on the magnetostrictive properties of a radiator for defrosting heat exchangers of ventilation equipment // Constructions materials and productions. 2021. Vol. 4. № 4. P. 5–10.
18. P.A. Orlov, T.N. Pina, and K.P. Orlov Promising methods of ice control of air heat pump evaporators Innovations and Technologies in Construction (BUILDINTECH BIT 2021) Journal of Physics: Conference Series 1926 (2021) 012017 IOP Publishing doi: 10.1088/1742-6596/1926/1/012017.
19. P.A. Orlov, T.N. Pina, and K.P. Orlov Test of heat pump unit with MOVEBIT anti-icing system // Constructions materials and productions. 2022. Vol. 5. № 2. P. 43–50.

20. Il'ina T.N., Orlov P.A., Echina A.O. Air Heat Pumps MOVEBIT system: Materials of International University Scientific Forum «Practice Oriented Science: UAE-RUSSIA-INDIA». February. 2023.UAE. S. 67–71. DOI 10.34660INE.2023.80.35.145.
21. Орлов П.А., Ильина Т.Н., Колесников М.С., Ечина А.О. Интеграция тепловых насосов в теплоснабжение инженерных систем // Материалы Междун. научно-практ. конф. «Энергетика в современном мире», 9–10 декабря 2021 г., г. Чита: Изд-во ФГБОУ «Заб ГУ». 2021. С. 121–125.
22. Система вентиляции и кондиционирования воздуха. Теория и практика; учебные пособия / Ананьев В.А., Балугев Л.Н., Гельперин А.Д. и др. — М.: «Евроклимат» издательство «Арина». — 2007. — 416.

**Il'ina Tatiana Nikolaevna**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia  
E-mail: ilinatat50@mail.ru

**Savvin Nikita Yurievich**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia  
E-mail: n-savvin@mail.ru

**Averkova Olga Alexandrovna**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia  
E-mail: n-savvin@mail.ru

**Logachev Konstantin Ivanovich**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia  
E-mail: n-savvin@mail.ru

## **Renewable and secondary energy sources of engineering systems in the operation and reconstruction of buildings and structures**

**Abstract.** The authors show the relevance of the use of renewable energy sources for heat supply of heating, ventilation and air conditioning systems of buildings and structures. Energy conversion systems using heat pumps of various types are considered. The principle of operation of steam compression refrigeration units is presented. Comparative characteristics, advantages and disadvantages of heat pump installations are given: geothermal, water, air. The trend of using heat pumps in various countries is shown. Currently, geothermal installations are the most widespread, which have a high coefficient of thermal energy conversion, but are characterized by higher capital and operating costs compared to air heat pumps. Air heat pumps are the most economically and environmentally appropriate way to use thermal energy. However, their use is limited in countries with cold climates, since the formation of frost and ice is possible in the evaporation unit, the removal of which requires additional energy costs, which reduces their efficiency. The analysis of various ways to combat frostbite is given, the prospects of using mechanical vibrations to destroy ice are shown. Examples of complex application of air heat pumps in heating and air recovery systems of residential and industrial premises are considered. To ensure the required air exchange of small premises, for example, shopping malls, it is advisable to use split-channel type air conditioners with supply ventilation. The use of the considered heat supply, ventilation and air recovery systems using renewable energy sources will allow managing the life cycle of capital construction projects taking into account technical, economic and environmental risks.

**Keywords:** heat pump installations; energy conversion coefficient; ice; evaporation unit; split-system air conditioners; mass transfer; steam compression cycle