

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**  
**BUILDING AND ARCHITECTURE**

УДК 536.621

DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-177-187

Оригинальная статья / Original Paper

**Методические аспекты оптимизации затрат энергопотребления малоэтажных строений со встроенным воздушным тепловым насосом**

**Е.И. Крупнов<sup>1</sup>, И.А. Зайцева<sup>1</sup>, С.А. Логинова<sup>2</sup>, И.С. Зайцев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ивановский государственный политехнический университет,

<sup>1</sup>153000, г. Иваново, Шереметевский просп., 21, Россия,

<sup>2</sup>Ярославский государственный технический университет,

<sup>2</sup>150023, г. Ярославль, Московский пр-кт, 88, Россия,

<sup>3</sup>Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина,

<sup>3</sup>153003 г. Иваново, Рабфаковская ул., 34, Россия

**Резюме. Цель.** Одним из перспективных путей решения проблемы рационального использования топливно-энергетических ресурсов является применение экологически чистых энергосберегающих воздушных тепловых насосов, основанных на использовании нетрадиционных источников энергии. Применение инновационных энергосберегающих технологий требует обоснованных методических рекомендаций по оценке их энергоэффективности. Целью исследования является разработка методики расчета потребляемой электрической и выработки тепловой энергий, а также сезонного показателя энергоэффективности эксплуатации воздушного теплового насоса. **Метод.** Методика в качестве исходных данных учитывает экспериментальные данные испытаний воздушного теплового насоса (ВТН) по теплопроизводительности в зависимости от изменения температуры источника низкопотенциальной теплоты и температурного режима теплоносителя. **Результат.** Разработанная методика последовательности расчета затрат на энергопотребление и энергосбережение при применении воздушного теплового насоса, начиная от определения потребностей в отоплении и охлаждении помещения до установки и настройки ВТН. Методика обусловлена существующими в нормативных документах недостатками методической базы для оптимизации энергозатрат и теплогенерации тепловыми насосами. **Вывод.** Методика может быть применена не только для расчета годовых эксплуатационных затрат применения теплового насоса и определения структуры потребления энергии (тепловой и электрической), но и для оптимизации энергетических параметров ВТН с оценкой энергетической эффективности разных вариантов их конфигураций. От правильного учета необходимой тепловой нагрузки малоэтажного строения и расхода электроэнергии для ее обеспечения зависит точность расчета эксплуатационных затрат, которые будут иметь место в отопительный период работы воздушного теплового насоса (ВТН).

**Ключевые слова:** методика, энергопотребление, энергоэффективность, ресурсосбережение, эксплуатационные затраты, воздушный тепловой насос

**Для цитирования:** Е.И. Крупнов, И.А. Зайцева, С.А. Логинова, И.С. Зайцев. Методические аспекты оптимизации затрат энергопотребления малоэтажных строений со встроенным воздушным тепловым насосом. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(2):177-187. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-177-187

**Methodological aspects of optimization of energy consumption costs of low-rise buildings with a built-in air heat pump**

**E.I. Krupnov, I.A. Zaitseva, S.A. Loginova, I.S. Zaitsev**

<sup>1</sup>Ivanovo State Polytechnic University,

<sup>1</sup>153000, Ivanovo, Sheremetevsky avenue, 21, Russia,

<sup>2</sup>Yaroslavl State Technical University,

<sup>2</sup>88 Moskovsky Ave., Yaroslavl 150023, Russia

<sup>3</sup> .I. Lenin Ivanovo State Power Engineering University,

<sup>3</sup>34 Rabfakovskaya St., Ivanovo 153003, Russia

**Abstract. Objective.** The rational use of fuel and energy resources is one of the urgent problems. One of the promising ways to solve this problem is the use of environmentally friendly energy-saving air source heat pumps based on the use of non-traditional energy sources. The use of such innovative energy-saving technologies requires not only modern architectural and planning, design and engineering solutions, but also sound methodological recommendations for assessing their energy efficiency and feasibility. The article presents a methodology for calculating the consumed electrical energy and heat generation, as well as the seasonal indicator of energy efficiency in the operation of an air source heat pump. **Method.** The technique takes into account, as input data, experimental data from tests of high-voltage heat pumps in terms of heat output depending on the change in the temperature of the source of low-grade heat and the temperature regime of the coolant. **Result.** The need to develop a methodology is due to the shortcomings in the regulatory documents of the methodological basis for optimizing energy costs and heat generation by heat pumps. The accuracy of calculating the operating costs that will occur during the heating period of the air source heat pump (AHP) depends on the correct accounting of the required heat load of a low-rise building and the consumption of electricity to ensure it. **Conclusion.** This technique can be applied not only to calculate the annual operating costs of using a heat pump and determine the structure of energy consumption (thermal and electrical), but also to optimize the energy parameters of HHP with an assessment of the energy efficiency of different options for their configurations.

**Keywords:** methodology, energy consumption, energy efficiency, resource saving, operating costs, air source heat pump

**For citation:** E.I. Krupnov, I.A. Zaitseva, S.A. Loginova, I.S. Zaitsev. Methodological aspects of optimization of energy consumption costs of low-rise buildings with a built-in air heat pump. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(2): 177-187. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-177-187

**Введение.** В условиях увеличения объемов жилищного строительства в соответствии с перспективными планами Правительства РФ и Стратегией социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года в строительной отрасли основной акцент делается на малоэтажное (коттеджное) строительство и встроенные энергосберегающие экологически безопасные системы тепло-, водоснабжения.

Отрасли теплоснабжения и горячего водоснабжения являются крупнейшим энергопотребляющим сектором, на который приходится примерно треть всего энергопотребления. В соответствии с Федеральным законом №261-ФЗ от 29.11.2009 г. «Об энергосбережении и энергетической эффективности...», а также по результатам многочисленных исследований значительная часть энергопотребности может быть удовлетворена за счет нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

В настоящее время в связи с растущими ценами на энергоресурсы и необходимостью сокращения нагрузки на окружающую среду, вопрос оптимизации затрат на отопление и охлаждение малоэтажных строений становится все более актуальным. Для решения данной проблемы широко используются воздушные тепловые насосы, которые позволяют значительно снизить затраты на энергопотребление. Теплонасосные установки давно доказали свою эффективность благодаря тому, что передают потребителю в 3-5 раз больше энергии, чем потребляют сами на ее извлечение и перенос.

Однако сейчас наука развитых стран считает эту технологию недостаточно экологически чистой, поскольку тепловые насосы все-таки подключены к электросети, а электроэнергию обычно получают, используя традиционные источники (сжигая уголь и нефть).

Тем не менее, воздушный тепловой насос ВТН остается пока на сегодняшний день одной из энергосберегающих и экологически эффективных технологий получения из окружающего воздуха рассеянной тепловой энергии и преобразования ее в удобную для использования форму энергии, который может извлечь теплоту и при  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Одной из главных проблем развития теплоснабжения ТН в России является отсутствие нормативной документации для данных теплогенераторов [1, 2].

Документы, регулирующие использование тепловых насосов в России, начали появляться совсем недавно. До этого можно было сослаться только на СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» (СП 60.13330.2012), в котором тепловые насосы только упоминаются.

В настоящее время технико-экономическое обоснование эксплуатации ВТН для малоэтажного строительства основывается на двух основных источниках – сводах правил [3,4] и рекомендации по проектированию от заводов-изготовителей ВТН, которые сводятся к организации работ по проектированию и обслуживанию. Отдельные исследования по изучению термодинамических и теплофизических процессов создали математический аппарат [5], который позволяет оптимизировать конструкции ВТН и капитальные затраты на их установку.

Позже появился ГОСТ Р 54865–2011 «Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребления и эффективности системы производства тепла с тепловыми насосами. Настоящий ГОСТ непосредственно посвящен тепловым насосным системам. Представленная в нем методика позволяет рассчитать энергопотребление теплонасосной системы с учетом режимов ее работы, состава и характеристик основного и вспомогательного оборудования и др. Методика основана на использовании эксплуатационных параметров оборудования, указанных в технической документации, а также на характеристиках оборудования, полученных в результате испытаний по российским или европейским методикам.

Объединением «НОСТРОЙ» был разработан стандарт по монтажу, вводу в эксплуатацию и пусконаладке тепловых насосных систем - СТО НОСТРОЙ 149 «Устройство теплонасосных систем теплохладоснабжения зданий. Правила, контроль выполнения, требования к результатам работ». Настоящий стандарт разработан в развитие положений СП 60.13330.2012 (раздел 11), а также в целях конкретизации положений документа «Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии».

**Постановка задачи.** До сих пор отсутствует единая универсальная методическая база для оптимизации энергозатрат и теплогенерации тепловыми насосами. В этой связи целью данного исследования является разработка методики определения затрат энергопотребления малоэтажных строений со встроенным воздушным тепловым насосом и оценка экономической выгоды использования данной технологии.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучение факторов, оказывающих влияние на выбор воздушных тепловых насосов с учетом преимуществ и недостатков их использования в малоэтажных строениях.
2. Измерение потребления электроэнергии на работу воздушного теплового насоса в течение определенного периода времени.
3. Оценка теплопотерь здания с помощью специальных программ для расчета коэффициента теплопередачи.
4. Расчет затрат на отопление и охлаждение помещений с учетом параметров климатических условий, таких как температура воздуха, влажность.

**Методы исследования.** Выявление недостатков современной существующей нормативной документации позволяет сделать вывод о том, что для дальнейшего развития энергоэффективного теплоснабжения малоэтажных строений на основе применения ВТН в России необходимо усовершенствовать методическую базу для технико-экономического обоснования ресурсосбережения. Содержательно задача разработки методики сводится к следующему.

Использование воздушных тепловых насосов для малоэтажных строений имеет свои преимущества и недостатки (табл. 1).

**Таблица 1. Преимущества и недостатки использования ВТН в малоэтажных строениях**  
**Table 1. Advantages and disadvantages of using VTN in low-rise buildings**

<b>Преимущества/ Advantages and</b>	<b>Недостатки/ Disadvantages</b>
1. <b>Экономия энергии. Energy saving.</b> Одним из главных преимуществ ВТН является экономия энергии. Они работают на основе цикла обратимой термодинамики, который позволяет использовать энергию воздуха для нагрева помещений и приготовления горячей воды. По сравнению с традиционными системами отопления, которые используют газ или мазут, ВТН потребляют значительно меньше энергии.	1. <b>Высокая стоимость. High price.</b> ВТН стоят значительно дороже, чем традиционные системы отопления.
2. <b>Экологичность. Environmental friendliness.</b> Использование ВТН также способствует сокращению выбросов вредных веществ в окружающую среду. Они не используют газ или мазут, что уменьшает количество выбросов углекислого газа и других вредных веществ.	2. <b>Зависимость от температуры воздуха. Dependence on air temperature.</b> ВТН работают на основе тепла из воздуха, что означает, что их эффективность зависит от температуры воздуха. В холодные зимние дни ВТН могут работать менее эффективно.
3. <b>Удобство. Convenience.</b> ВТН не требуют большого количества места для установки и не нуждаются в большом количестве труб, что делает их более удобными и простыми в установке.	3. <b>Необходимость регулярного обслуживания. The need for regular maintenance.</b> ВТН требуют регулярного обслуживания, включая проверку и чистку фильтров, чтобы обеспечить оптимальную работу системы.
4. <b>Универсальность. Versatility.</b> ВТН могут использоваться как для отопления, так и для охлаждения помещений. Это позволяет экономить не только на затратах на отопление, но и на затратах на кондиционирование воздуха.	4. <b>Ограниченный радиус действия. Limited range.</b> ВТН имеют ограниченный радиус действия, что означает, что они не могут быть использованы для отопления больших зданий.
5. <b>Надежность. Reliability.</b> ВТН имеют низкую вероятность поломок и требуют минимального обслуживания.	5. <b>Шум. Noise.</b> Некоторые модели ВТН могут быть довольно шумными, что может привести к дискомфорту для жильцов.

Учет всех факторов при правильном выборе ВТН позволяет добиться оптимальной работы системы теплоснабжения и минимизировать затраты на отопление и охлаждение помещений, что отражается на экономии не только энергоресурсов в физическом выражении, но и в финансовом и экологическом отношении. Воздушный тепловой насос использует энергию из воздуха, что позволяет сократить затраты на газ или мазут, а также снизить выбросы вредных веществ в окружающую среду. Кроме того, использование ВТН для охлаждения помещений также позволяет экономить на затратах на кондиционирование воздуха.

Кроме перечисленных параметров ВТН при разработке методики учитываются такие ограничения, как экологичность применяемых в тепловых насосах марок фреонов – хладагентов, климатические особенности региона, тип и характеристики строения, а также его местоположение и др.

**Обсуждение результатов.** Методика расчета затрат на энергопотребление и энергосбережение при применении воздушного теплового насоса включает несколько этапов, начиная от определения потребностей в отоплении и охлаждении помещения до установки и настройки ВТН.

Этап 1: Определение потребностей в отоплении и охлаждении помещения.

Первый этап может быть реализован путем проведения анализа климатических условий, размеров и конструкции помещения, его использования, количества людей, находящихся в помещении, и других факторов.

От правильного учета необходимой тепловой нагрузки малоэтажного строения и

расхода электроэнергии для ее обеспечения зависит точность расчета эксплуатационных затрат, которые будут иметь место в отопительный период работы воздушного теплового насоса (ВТН).

Для определения потребностей в отоплении и охлаждении помещения необходимо провести анализ климатических условий. Это включает изучение средней температуры воздуха, относительной влажности, скорости ветра и количества солнечного света в регионе. Необходимо также учитывать возможные изменения климата в течение года, чтобы определить необходимые мощности ВТН.

Средняя температура воздуха является одним из основных параметров, которые необходимо учитывать при определении потребностей в отоплении и охлаждении помещения. Она может быть определена путем изучения климатических данных за последние годы или сезоны. Для более точного расчета необходимо учитывать изменения температуры воздуха в разное время суток и в различные сезоны года.

Относительная влажность также является важным фактором. Высокая влажность может привести к ощущению дискомфорта и увеличению затрат на охлаждение, в то время как низкая влажность может привести к сухости воздуха и повышенной электростатической зарядке.

Высокая скорость ветра может привести к большим тепловым потерям через стены и окна, что требует более мощных ВТН для поддержания комфортной температуры в помещении.

Большое количество солнечного света может привести к повышению температуры в помещении, что требует более мощных ВТН для поддержания комфортной температуры.

Размеры и конструкция крупных помещений могут требовать более мощных ВТН для обеспечения эффективного отопления и охлаждения. Плохо утепленные стены и окна могут привести к большим тепловым потерям и повышенным затратам на отопление.

Большое количество людей может привести к повышенным тепловыделениям, что требует более мощных ВТН для поддержания комфортной температуры в помещении.

Также необходимо учитывать цели использования помещения. Например, помещение, используемое как офис, может требовать более высокой температуры, чем помещение, используемое как склад. Это также может повлиять на выбор типа ВТН и его мощность.

Кроме того, необходимо учитывать другие факторы, такие как наличие оборудования и освещения в помещении, которые могут повышать температуру в помещении и требовать более мощного ВТН.

Этап 2: Выбор подходящего типа ВТН.

Второй этап заключается в выборе подходящего типа ВТН, учитывая потребности в отоплении и охлаждении помещения, климатические условия и другие факторы. В малоэтажных строениях наиболее распространены следующие типы тепловых систем: кондиционеры, тепловые насосы, электрические обогреватели и газовые котлы. Существует несколько видов тепловых насосов, включая воздушные, водяные и грунтовые.

Что касается воздушных тепловых насосов, то различают два типа систем с воздушным источником, которые могут быть использованы для отбора рассеянной тепловой энергии окружающего воздуха: «воздух-воздух» и «воздух-вода», в зависимости от того, какая среда используется для распространения тепла в здании – воздух или вода.

Тепловые насосы типа воздух-воздух предназначены для прямого нагрева воздуха внутри помещения. Тепловые насосы типа воздух-воздух могут работать как универсальная климатическая система, поддерживающая комфортную температуру в доме круглый год. В холодное время года ВТН обеспечивает отопление, а в жаркое время работает как кондиционер. Кроме того, практически любая модель воздух-воздух имеет встроенные функции очистки воздуха от пыли, запахов и различных микроорганизмов.

Преимущество теплового насоса типа воздух-воздух над системами типа воздух-вода заключается в более низкой температуре воздуха, проходящего через теплообменник конденсатора, а это +20..+25°C, что обеспечивает повышенное значение коэффициента произво-

дительности COP (и более высокий уровень теплоотдачи (у систем «воздух-вода» температура стока от +40°C до +65°C). Но системы «воздух-воздух» не могут обеспечить здание горячей водой [6-8].

При выборе подходящего типа ВТН необходимо учитывать не только потребности в отоплении и охлаждении помещения, но и затраты на энергопотребление. Любой тепловой насос при эффективной эксплуатации имеет различные значения выработки тепловой энергии и потребления электрической энергии. Эти показатели зависят от многих факторов, которые тем или иным образом влияют на работу воздушного теплового насоса и определяют его потребительские характеристики:

- тип (конфигурацию) генерации теплоты (моновалентный, бивалентный);
- тип теплового насоса (с электроприводом, с механическим приводом и т.д.);
- тип привода теплового насоса (электричество, топливо, газ и т.п.);
- тип источника низкопотенциальной теплоты и теплоносителя (воздух – воздух, воздух – вода и т.д.);
- рабочий режим работы (отопление, горячее водоснабжение, кондиционирование);
- стоимость.

При выборе воздушного теплового насоса необходимо учитывать ряд технических характеристик и параметров для определения затрат энергопотребления [9]:

1. КПД (коэффициент полезного действия) – это отношение полученной тепловой энергии к затраченной электроэнергии. Чем выше КПД, тем меньше электроэнергии потребуется для обогрева помещения.

2. Тепловая мощность – это количество тепла, которое может выдавать насос. Необходимо выбирать насос с соответствующей тепловой мощностью, чтобы обеспечить достаточный уровень тепла в помещении.

3. Тип компрессора – существуют два типа компрессоров: инверторный и обычный. Инверторные компрессоры более эффективны и экономичны, поскольку они могут регулировать мощность в зависимости от потребностей помещения.

4. Температурный диапазон – насосы имеют определенный диапазон рабочих температур. Необходимо учитывать, какой диапазон температур будет использоваться в конкретном помещении.

5. Уровень шума – насосы могут создавать шум при работе. Необходимо выбирать насос с приемлемым уровнем шума для конкретного помещения.

Решение о выборе подходящего типа ВТН должно быть принято на основе сравнительного анализа всех факторов и с учетом конкретных условий помещения и региона.

Этап 3: Расчет затрат на энергопотребление для ВТН.

Первым шагом в расчете затрат на энергопотребление является определение и анализ энергетических характеристик ВТН, таких как:

- коэффициент производительности (COP), который является мерой эффективности теплового насоса и определяется как отношение выходной тепловой мощности к затраченной электрической мощности. Чем выше COP, тем более эффективен тепловой насос;
- сезонный коэффициент производительности (SCOP), который учитывает эффективность работы теплового насоса в различных условиях окружающей среды, таких как температура воздуха и влажность.

SCOP определяется как среднее значение COP за отопительный сезон, учитывая изменения внешних условий. Расчет показателя сезонной энергоэффективности особенно актуален для центральных регионов РФ, так как климатические условия оказывают влияние на эффективность применения ВТН. Среднегодовая температура предполагает, что работать ВТН будет эффективно [10], но резкое снижение температуры в отопительный период обеспечивает значительный спад производительности ВТН.

Вторым шагом в расчете затрат на энергопотребление является анализ стоимости электроэнергии, используемой для питания ВТН, ее потребление в различные периоды времени, такие как дневные и ночные часы, выходные и праздничные дни, и других факторов, таких как тарифные планы и налоги, в зависимости от региона, поставщика электроэнергии.

В целом, расчет затрат на энергопотребление для ВТН включает анализ энергетических характеристик ВТН, стоимости электроэнергии и ее потребления в различные периоды времени, установку счетчиков электроэнергии и анализ полученных данных, а также расчет экономической эффективности ВТН [11].

#### Этап 4: Определение потенциала энергосбережения

Для определения потенциала энергосбережения необходимо провести анализ текущей системы отопления и охлаждения помещения и сравнения их с затратами при использовании ВТН. Это может включать оценку типа топлива, используемого для отопления, марки фреона, эффективности системы отопления и охлаждения, уровня утепления здания и других факторов, которые могут влиять на затраты энергопотребления.

Сравнение затрат на энергопотребление при использовании ВТН с затратами на текущую систему отопления и охлаждения помещения позволяет определить потенциал энергосбережения. Если затраты на энергопотребление при использовании ВТН ниже, чем затраты на текущую систему отопления и охлаждения, то использование ВТН может быть экономически выгодным и иметь потенциал для снижения затрат на энергопотребление.

Одним из факторов, который может повысить потенциал энергосбережения при использовании ВТН, является установка дополнительных мероприятий по улучшению эффективности системы отопления и охлаждения. Например, это может включать установку термостатов, которые позволяют управлять температурой в помещении и снижать затраты на энергопотребление.

Установка рекуперации и рециркуляции воздуха в ВТН может значительно повысить потенциал энергосбережения. Когда свежий воздух поступает в помещение через рекуператор, он уже нагрет или охлажден, что позволяет снизить затраты на отопление и охлаждение. Рециркуляция воздуха позволяет сохранять тепло в помещении и снижать затраты на отопление.

Кроме того, установка рекуперации и рециркуляции воздуха может улучшить качество воздуха в помещении. Рекуператоры воздуха удаляют загрязнения из свежего воздуха, поступающего в помещение, тем самым улучшая его качество. Рециркуляция воздуха также может помочь в удалении загрязнений из помещения, так как вентиляционная система перераспределяет воздух по всему зданию.

Однако при установке рекуперации и рециркуляции воздуха в ВТН необходимо учитывать некоторые факторы. Например, необходимо убедиться, что рекуператор и вентиляционная система работают эффективно и не увеличивают затраты на энергопотребление. Также необходимо убедиться, что воздух в помещении не становится слишком сухим или слишком влажным.

Другим фактором, который может повысить потенциал энергосбережения при использовании ВТН, является улучшение утепления здания. Утепление здания может снизить потребность в отоплении и охлаждении помещения и, следовательно, снизить затраты на энергопотребление.

Определение потенциала энергосбережения также может включать анализ возможности использования возобновляемых источников энергии для питания ВТН. Например, использование солнечных батарей для питания ВТН может снизить затраты на электроэнергию и повысить потенциал энергосбережения.

В целом, определение потенциала энергосбережения при использовании ВТН включает проведение анализа текущей системы отопления и охлаждения помещения, сравнение затрат на энергопотребление при использовании ВТН с затратами на текущую

систему отопления и охлаждения, установку дополнительных мероприятий по улучшению эффективности системы отопления и охлаждения, улучшение утепления здания и анализ возможности использования возобновляемых источников энергии для питания ВТН.

Этап 5: Выбор оптимального режима работы ВТН.

Пятый этап может быть выполнен путем определения оптимальной температуры в помещении и выбора наиболее эффективного режима работы ВТН для достижения этой температуры.

Оптимальный режим работы ВТН - это тот, который обеспечивает комфортную температуру в помещении при минимальных затратах на энергопотребление. Для определения оптимальной температуры в помещении можно использовать различные методы, такие как анализ теплопотерь, расчеты теплового баланса и тестирование системы отопления и охлаждения.

Анализ теплопотерь позволяет определить, сколько тепла уходит из помещения через окна, двери, стены и крышу, что является основанием для расчета необходимой мощности ВТН для обогрева или охлаждения помещения.

Расчеты теплового баланса учитывают не только теплопотери, но и тепловые нагрузки, которые могут быть вызваны людьми, оборудованием и освещением в помещении. Это позволяет определить оптимальную мощность ВТН для конкретного помещения.

Тестирование системы отопления и охлаждения дает возможность определения, как быстро система достигает заданной температуры в помещении и как долго она может поддерживать эту температуру без дополнительного энергопотребления.

Оптимальный режим работы ВТН может варьироваться в зависимости от времени суток, дня недели и времени года. Например, в зимние месяцы, когда температура на улице ниже, может потребоваться более высокая температура в помещении, что может привести к повышенным затратам на энергопотребление. В летние месяцы, когда температура на улице выше, может потребоваться более низкая температура в помещении, что также может привести к повышенным затратам на энергопотребление.

Для оптимизации работы ВТН можно использовать различные технологии и методы. Например, использование программного обеспечения для управления системой отопления и охлаждения позволяет автоматически регулировать температуру в помещении в зависимости от времени суток и дня недели. Это обеспечивает не только минимизацию затрат на энергопотребление, но и повышает комфорт в помещении.

Использование технологий для управления вентиляционной системой, например, датчиков CO<sub>2</sub> позволяет автоматически регулировать скорость вентиляции в зависимости от количества людей в помещении. Это позволяет снизить затраты на энергопотребление и улучшить качество воздуха в помещении.

Использование различных материалов и технологий для утепления и герметизации помещения, например, утеплителей высокой плотности и герметизация окон и дверей позволяет снизить теплопотери и улучшить эффективность работы ВТН.

Этап 6: Установка и настройка ВТН.

Установка ВТН начинается с выбора оптимального места для ее размещения. Это может быть выполнено путем обращения к специалистам, которые могут правильно установить и настроить ВТН для достижения оптимальной работы системы и минимизировать затраты на отопление и охлаждение помещений.

Обычно ВТН устанавливается в техническом помещении, которое должно быть оборудовано соответствующими коммуникациями и системой вентиляции. При выборе места для установки ВТН необходимо учитывать такие факторы, как доступность для обслуживания и ремонта, безопасность и возможность подключения к электросети.

После выбора места для установки ВТН необходимо провести монтаж системы. Это может включать в себя установку трубопроводов, радиаторов, насосов и другого

оборудования. При монтаже необходимо соблюдать все требования и нормы безопасности, а также следить за качеством выполненных работ.

После установки ВТН необходимо выполнить ее настройку, которая может включать в себя:

1. Настройка параметров системы - установка температурных режимов, режимов работы насосов и других параметров системы.
2. Проверка работоспособности системы - проверка теплообменника, насосов, клапанов и других элементов системы.
3. Регулировка параметров системы - регулировка температурных режимов, скорости потока воздуха и других параметров.
4. Обучение пользователя - обучение правильному управлению температурными режимами, использованию программного обеспечения для управления системой и другим нюансам.

При установке и настройке ВТН необходимо соблюдать все требования и нормы безопасности, а также следить за качеством выполненных работ. Неправильная установка и настройка ВТН может привести к повреждению оборудования, повышенным затратам на энергопотребление и другим проблемам.

Выходная тепловая мощность воздушного теплового насоса зависит от множества факторов, учитывающих внутренние термодинамические процессы работы тепловой системы, которые не были рассмотрены выше, а именно: от объема хладагента, от площади поверхности змеевиков в испарителе и конденсаторе, от предполагаемого объема теплоотдачи системе отопления и так далее. Поэтому расчеты затрат энергопотребления необходимо вести в специальной программе, учитывающей расчет отдельных показателей: тепловых потерь зданий и помещений, тепловой мощности ВТН и другие вводные данные.

На сегодняшний день не существует комплексной программы расчета затрат энергопотребления ВТН. В упрощенной форме оформлены программы в виде онлайн «калькуляторов» [3, 11], с открытыми полями для ввода следующих параметров:

- площади помещения и высоты потолков – они используются для расчета объема,
- региона, где расположено здание – с помощью этого параметра определяется среднегодовая температура воздуха, влияющая на производительность испарителя,
- степени утепления задания – с помощью этого параметра определяется ожидаемая «калорийность» системы отопления.

На финальной стадии два последних параметра преобразуются в коэффициенты, на которые умножают объем помещения. Полученную в результате подобных манипуляций сумму сравнивают с табличными значениями, увязывающими мощность насоса с отапливаемым объемом.

В настоящее время многие производители [6, 7] тепловых насосов предлагают воспользоваться своими «калькуляторами», специально разработанными под выпускаемые ими модели тепловых насосов. Но, как правило, их калькуляторы адаптированы под определенные типы тепловых насосов (например, циркуляционный, реверсивный и т.д.).

**Вывод.** Эффективность применения ВТН определяется двумя факторами: опережающим увеличением стоимости замещаемого топлива по сравнению с ростом электроэнергии и достижением термодинамической оптимизации цикла за счет совершенствования конструкций тепловых насосов [6, 9]. Конструктивная модернизация ВТН позволяет осуществлять комбинированную выработку тепловой энергии либо последовательным, либо параллельным способом. Таким образом, ВТН может эксплуатироваться в нескольких рабочих режимах:

- режим отопления, при котором работает только система отопления;
- режим горячего водоснабжения, при котором работает только система бытового горячего водоснабжения);

- универсальный режим (комбинированный) осуществляется отопление и горячее водоснабжение.

Данная методика может быть применена для решения следующих вопросов:

- оценки работы ВТН на соответствие нормативам энергопотребления;
- оптимизации энергетических параметров ВТН с оценкой энергетической эффективности разных вариантов их конфигураций;
- определения структуры потребления энергии (тепловой и электрической);
- расчета годовых эксплуатационных затрат применения теплового насоса;
- оценки эффективности применения различных энергосберегающих мероприятий и их сравнения по эффективности использования энергии.

В дальнейшем авторы предполагают представить результаты экспериментальных исследований и расчеты затрат энергопотребления по предложенной методике, в ходе которых будет выбрано наиболее лучшее решение по организации энергоэффективной и экологичной системы теплоснабжения малоэтажных строений в климатических условиях центральных регионов РФ на основе модернизации существующей модели ВТН.

#### Библиографический список:

1. Федосов, С.В. Особенности функционирования фреонового контура малоэтажного здания с воздушным тепловым насосом в отопительный период / С.В. Федосов, В.Н. Федосеев, В.Е. Шебашев, И.А. Зайцева, В.Г. Котлов, В.А. Емелин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. - 2019. - № 4 (12). - С. 142-148.
2. Алоян, Р.М. Рациональное использование соотношений электротарифов для автономных текстильных строений в режиме теплоснабжения электродкотлом / Р.М. Алоян, В.Н. Федосеев, Н.В. Виноградова, И.А. Зайцева, М.Р. Иродова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2017. - №4(370). - С. 242-245.
3. Воздушные тепловые насосы // URL: <https://luccheetoplenie.ru/tipy-otopleniya/vozdushnoe/vozdushnye-teplovye-nasosy.html>
4. Воронов, В.А. Климатические условия и факторы, влияющие на производительность воздушного теплового насоса / В.А. Воронов, В.А. Емелин, В.Н. Федосеев, И.А. Зайцева // Сборник научных трудов. Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений. Иваново. ИВГПУ. - 2015. - С. 241-251.
5. ГОСТ Р 54865-2011 Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с тепловыми насосами URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200089610>
6. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов нетрадиционных возобновляемых источников энергии. – М. – 2001. URL:[http://www.infosait.ru/norma\\_doc/8/8574/index.htm](http://www.infosait.ru/norma_doc/8/8574/index.htm)
7. Лунева, С.К. К вопросу применения тепловых насосов / С.К. Лунева, А.С. Чистович, И.Х. Эмиров // Техничко-технологические проблемы сервиса. - 2013. - № 4 (26). - С. 45-52.
8. Жуков, А.Д. Системы экологически устойчивого строительства / А.Д. Жуков, Т.В. Смирнова, Н.В. Наумова, Р.М. Мустафаев // Строительство: наука и образование. - 2013. - № 3. - С. 4-12.
9. Оганесян, Л.С. Эффективность применения воздушных тепловых насосов в условиях Армении / Л.С. Оганесян, М.Г. Казарян // Вестник Национального политехнического университета Армении. Электротехника, энергетика. - 2015. - № 1. - С. 11-35.
10. Петросян, А.Л. Применение воздушных тепловых насосов для отопления зданий // Энергосбережение. - 2015. - № 4. - С. 54-61.
11. Яковлев, И.В. Энергоэффективность перехода на автономное теплоснабжение от воздушных теплонасосных установок в климатических условиях России / И.В. Яковлев, А.М. Исхакова, И.В. Парехина // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. - 2016. - № 5. - С. 105-112.

#### References:

1. Fedosov, S.V. Features of the functioning of the freon circuit of a low-rise building with an air heat pump during the heating period / S.V. Fedosov, V.N. Fedoseev, V.E. Shebashev, I.A. Zaitseva, V.G. Kotlov, V.A. Emelin. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2019; 4 (12): 142-148. (In Russ)
2. Aloyan, R.M. Rational use of ratios of electric tariffs for autonomous textile buildings in the mode of heat supply by an electric boiler / R.M. Aloyan, V.N. Fedoseev, N.V. Vinogradova, I.A. Zaitseva, M.R. Irodova // *Izvestiya vuzov. Technology of the textile industry.* 2017; 4 (370): 242-245. (In Russ)
3. Air source heat pumps. URL: <https://luccheetoplenie.ru/tipy-otopleniya/vozdushnoe/vozdushnye-teplovye->

- nasosy.html(In Russ)
- Voronov, V.A. Climatic conditions and factors affecting the performance of the air heat pump / V.A. Voronov, V.A. Emelin, V.N. Fedoseev, I.A. Zaitseva // Collection of scientific papers. Theory and practice of technical, organizational, technological and economic solutions. Ivanovo. IVGPU. 2015; 241-251. (In Russ)
  - GOST R 54865-2011 Heat supply of buildings. Methodology for calculating the energy demand and efficiency of a heat generation system with heat pumps URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089610>(In Russ)
  - Guidelines for the use of heat pumps using secondary energy resources of non-traditional renewable energy sources. - М. - 2001. URL: [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/8/8574/index.htm](http://www.infosait.ru/norma_doc/8/8574/index.htm)(In Russ)
  - Luneva, S.K. To the question of the use of heat pumps / S.K. Luneva, A.S. Chistovich, I.Kh. Emirov. *Technical and technological problems of service*. 2013; 4 (26):45-52. (In Russ)
  - Zhukov, A.D. Systems of environmentally sustainable construction / A.D. Zhukov, T.V. Smirnova, N.V. Naumova, R.M. Mustafaev. *Construction: science and education*. 2013; 3: 4-12. (In Russ)
  - Oganessian, L.S. The effectiveness of the use of air heat pumps in the conditions of Armenia / L.S. Oganessian, M.G. Ghazaryan. *Bulletin of the National Polytechnic University of Armenia. Electrical engineering, energy*. 2015; 1: 11-35. (In Russ)
  - Petrosyan, A.L. Application of air heat pumps for heating buildings. *Energy saving*. 2015; 4: 54-61. (In Russ)
  - Yakovlev, I.V. Energy efficiency of transition to autonomous heat supply from air heat pump installations in the climatic conditions of Russia / I.V. Yakovlev, A.M. Iskhakova, I.V. Parekhina. *Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute. Bulletin of MPEI*. 2016; 5:105-112. (In Russ)

**Сведения об авторах:**

Крупнов Евгений Иванович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительства и инженерных систем, [ekrup@list.ru](mailto:ekrup@list.ru)

Зайцева Ирина Александровна, кандидат экономических наук, доцент, магистр кафедры строительства и инженерных систем, e-mail:[75zss@rambler.ru](mailto:75zss@rambler.ru)

Логина Светлана Андреевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, [sl79066171227@yandex.ru](mailto:sl79066171227@yandex.ru)

Зайцев Иван Сергеевич, магистр кафедры программного обеспечения компьютерных систем, [e30n3@yandex.ru](mailto:e30n3@yandex.ru)

**Information about the authors:**

Evgeniy I. Krupnov, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Head of the Department of Construction and Engineering Systems, e-mail:[ekrup@list.ru](mailto:ekrup@list.ru)

Irina A. Zaitseva, Cand. Sci. (Econom), Assoc. Prof., Master of the Department of Construction and Engineering Systems, [75zss@rambler.ru](mailto:75zss@rambler.ru)

Svetlana A. Loginova, Cand. Sci. (Eng), Assoc. Prof., Department of Building Structures, [sl79066171227@yandex.ru](mailto:sl79066171227@yandex.ru)

Ivan S. Zaitsev, Master of the Department of Computer Systems Software, [e30n3@yandex.ru](mailto:e30n3@yandex.ru)

**Конфликт интересов/ Conflict of interest.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.**

**Поступила в редакцию/Received 28.04.2023.**

**Одобрена после/рецензирования Revised 20.05.2023.**

**Принята в печать/ Accepted for publication 20.05.2023.**