

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Э. Е. Семенова, Т. В. Богатова, А. В. Исанова, М. В. Рубцова

Семенова Эльвира Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация;

Богатова Татьяна Васильевна, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация;

Исанова Анна Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация;

Рубцова Мария Владимировна, магистрантка, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, e-mail: stereo25@mail.ru

Рассматривается влияние использования теплонасосных установок с разницей величин коэффициента полезного действия для уменьшения расхода электрической энергии. Обосновывается актуальность исследований применения тепловых насосов для повышения энергоэффективности гражданских зданий. В качестве объекта исследования авторами был выбран случай с разницей величин коэффициента полезного действия тепловых насосов для сравнения выявления энергоэффективности. Рассматривается пример с разностью температур хладагента и теплоносителя на выходе из конденсаторов и предпосылки их влияния на частичное вытеснение органического топлива с предоставленными графическими материалами. Данное сравнение проведено в целях определения достижения энергосберегающих, экономических и экологических эффектов от проектирования, создания и практики использования тепловых насосов.

Ключевые слова: энергоэффективность, тепловой насос, хладагент, электроэнергия, теплоноситель.

USING HEAT PUMPS TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY IN CIVIL BUILDINGS

E. Ye. Semenova, T. V. Bogatova, A. V. Isanova, M. V. Rubtsova

Semenova Elvira Yevgenyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design of Buildings and Structures, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation;

Bogatova Tatyana Vasilyevna, Associate Professor of the Department of Design of Buildings and Structures, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation;

Isanova Anna Vladimirovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation;

Rubtsova Maria Vladimirovna, master student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: stereo25@mail.ru

The influence of the use of heat pump installations with a difference in efficiency values to reduce the consumption of electrical energy is considered. The relevance of studies on the use of heat pumps to improve the energy efficiency of civil buildings is substantiated. As an object of research, the authors selected a case with a difference in the values of the efficiency of heat pumps to compare the identification of energy efficiency. An example is considered with the temperature difference between the coolant and the coolant at the outlet from the condensers and the prerequisites for their influence on the partial displacement of organic fuel with the provided graphic materials. This comparison was carried out in order to determine the achievement of energy-saving, economic and environmental effects from the design, creation and practice of using heat pumps.

Keywords: energy efficiency, heat pump, refrigerant, electricity, heat carrier.

Окружающая нас природная и техногенная среда, потребляющая огромное количество ресурсов, определяет качество нашей жизни. Постоянно возрастающее использование энергии и уменьшение запасов ее невозобновляемых источников ставит вопрос об энергосбережении на первый план. Ограниченность полезных ископаемых вызвала необходимость формирования концептуально-методологического подхода при проектировании энергоэффективной жилой среды и пересмотра традиционных мероприятий (рис. 1).

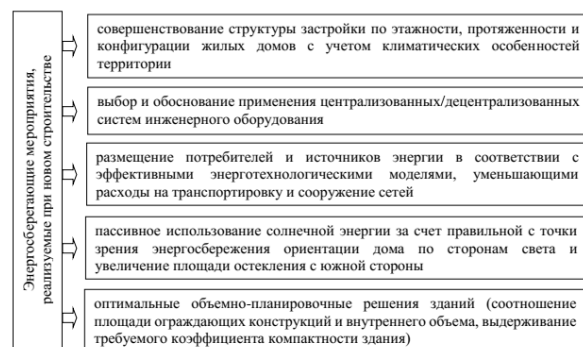


Рис. 1. Предпроектные (эскизные) энергоэффективные решения, включающие выбор источника теплоснабжения

Первоочередной задачей при возведении и эксплуатации энергосберегающих зданий является сокращение расхода топлива при оказании жилищно-коммунальных услуг. Проблему можно решить, применяя архитектурно-планировочные, технические и технологические мероприятия [1].

Сейчас традиционными источниками тепловой энергии для систем отопления и горячего водоснабжения выступают теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и районные котельные. Следует отметить, что именно совместная выработка различных видов энергии является преимуществом ТЭЦ, уменьшая негативное воздействие на окружающую городскую среду.

Производство электроэнергии на ТЭЦ связано с образованием вторичного источника – попутного тепла, которое требует утилизации для предотвращения перегрева. Из-за его появления коэффициент полезного действия (КПД) выработки электроэнергии составляет менее 100 %. Теплота, полученная в ходе технологического процесса на ТЭЦ, не «выбрасывается» в окружающую среду, а используется при теплоснабжении зданий. Таким образом, ее утилизация помогает снизить не только расход энергоресурсов, но и улучшить экологическую ситуацию региона, снизив тепловое загрязнение.

Одним из способов уменьшения топливно-энергетических затрат в системах теплоснабжения является использование тепловых насосов. Применение данного оборудования не требует дополнительных для ТЭЦ больших капиталовложений для строительства длинных теплотрасс, эксплуатация которых сопряжена со значительными тепловыми потерями.

Тепловые насосы (ТН) – это оборудование, которое позволяет перенести тепловую энергию от источника с низкой температурой к потребителю с более высокой температурой. ТН является обращённой холодильной машиной и даёт возможность вырабатывать тепловую энергию, используя низкопотенциальное тепло вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Возможность использования ТН даёт экономию до 70 % традиционных энергоресурсов.

ТН в зависимости от принципа работы подразделяются на компрессионные, абсорбционные и магнитные. «Перекачка» тепловой энергии в компрессионных ТН (рис. 1) совершается благодаря работе, которая осуществляется компрессором при подводе электричества извне. Именно в нем при сжатии хладагента повышается давление и температура рабочего вещества, которое до этого находилось в парообразном влагонасыщенном состоянии. В конденсаторе идёт процесс конденсации горячего газообразного хладагента и передача теплоты в систему отопления. Расширение рабочего вещества с частичным испарением осуществляется в редукционном клапане (дресселе). Полное превращение хладагента в

пар происходит в испарителе, именно здесь отбирается низкопотенциальная теплота от источника (рис. 2). Поэтому для работы теплового насоса необходимо наличие низкопотенциальных источников тепла (НТПИ), откуда он «перекачивает» тепло. К НТПИ относятся поверхностные воды; грунт; сточные воды; отработанный воздух; оборотная вода; грунтовая вода; солнечная радиация и т. д.

Следует отметить также, что кроме наличия НТПИ, применение в системах теплоснабжения ТН зависит от ряда факторов. К ним относятся: географическое положение объекта теплоснабжения, гидрогеологические и климатические условия, продолжительность отопительного периода.

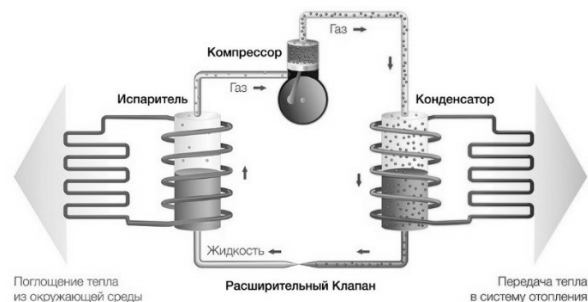


Рис. 2. Принцип действия теплового насоса

Ещё одним плюсом теплонасосного оборудования является возможность использования реверсивных ТН. Реверсивный тепловой насос – это машина, которая используется для отопления здания в зимний период и охлаждения в летний, в одном корпусе. Данная технология позволяет осуществлять контроль и управление не только температурой, но и влажностью воздуха, снижая капитальные и эксплуатационные расходы.

Внедрение теплонасосного оборудования для создания энергоэффективной жилой среды позволяет уменьшить не только расходование энергетических ресурсов в жилищно-коммунальном комплексе, но и улучшить общую экологическую обстановку жилых территорий. Целью исследования является обоснование комбинации параметров теплонасосной системы, состоящей из нескольких машин. Проанализируем влияние температуры испарения хладагентов в тепловых насосах, испарители которых соединены параллельно, на расход условного топлива. Основной задачей работы выступает поиск их оптимального соотношения так, чтобы стоимость единицы вырабатываемой энергии была наименьшей. Используя эмпирический метод, рассмотрим для поставленной задачи математическую модель теплонасосной системы.

Преобразуем функцию общего расхода топлива в безразмерный вид, чтобы решить задачу оптимизации производства теплоты в системе последовательно соединённых ТН. Функция общего расхода условного топлива, включающая безразмерные в новые переменные, будет иметь вид [2, 3]:

$$U(X, Y) = \frac{\eta_2 \cdot a_1}{a_0 \cdot T_{O2} \cdot (G_C + G_T)} B(X, Y) = \delta_o(X + \varepsilon_2^o)/Y + \varepsilon_1 \cdot \delta_o \cdot X + c_1^* \cdot \delta_o/X + U_o, \quad (1)$$

$$U_o = \frac{\eta_2}{\eta_K} \cdot a_1 \cdot (G_C^* \cdot c_2 + G_T^* c_3) - 1 - \delta_o(1 + c_1^* + \varepsilon_1 + \varepsilon_2^o), \quad (2)$$

где a_0 – произведение КПД работы всех фрагментов цепи; B – общий расход топлива; T_{O1}, T_{O2} – температура испарения хладагента ТН1 и ТН2, К; T_{K1}, T_{K2} – температура конденсации хладагента ТН1 и ТН2; G_C, G_T – массовые расходы теплоносителя в системе отопления и горячего водоснабжения; η_1, η_2 – КПД ТН-1, ТН-2; $\eta_{ЭС}$ – КПД электрической сети; η_K^3 – КПД выработки электроэнергии на КЭС; $\phi_{СН}$ – коэффициент собственных нужд; $\Delta T_{K1}, \Delta T_{K2}$ – конечная разность температур в конденсаторе ТН-1 и ТН-2, К; C_p – удельная изобарная теплоемкость воды, кДж/(кг·К); G_C^*, G_T^* – относительные расходы теплоносителя в системе отопления, горячего водоснабжения, соответственно, кг/с; δ_o – отношение температур испарения хладагента в конденсаторах тепловых насосов ТН-1 и ТН-2; ε_1 – относительная разность КПД работы ТН; ε_2^o – относительная разность температур в конденсаторах (по отношению к температуре испарения хладагента в испарителе); T_1, T_2 – температура теплоносителя в прямом и обратном трубопроводе системы отопления, К; $T_{Г1}$ – температура теплоносителя до теплообменника системы горячего водоснабжения, К; $T_{Г2}$ – температура теплоносителя после теплообменника системы горячего водоснабжения.

В нашей стране выпуск теплонасосного оборудования небольшой, параметр теплопередачи $\varepsilon_2 \ll 1$, а величина параметра КПД ε_1 находится в диапазоне $(\varepsilon_1^*, 1 - \eta_2)$. При существующем количестве производимых тепловых насосов, добиться практически одинакового их КПД крайне сложно и оборудование, которое выпускается на предприятиях нашей страны, значительно отличается по его характеристикам в виду неэффективной работающей системы контроля.

Проанализируем влияние температуры испарения хладагента ТН1 и ТН2 на расход условного топлива. Для этого рассмотрим теплонасосную систему теплоснабжения, обладающую следующими характеристиками, приведёнными в таблице 1. В данной схеме конечные разности температур хладагента и теплоносителя в конденсаторах первого и второго тепловых насосов при последовательном соединении берутся приблизительно равными. КПД первого ТН меньше КПД второго.

Проанализируем влияние температуры испарения хладагента ТН1 и ТН2 на расход условного топлива. Для этого рассмотрим теплонасосную систему теплоснабжения, обладающую следующими характеристиками, приведёнными в таблице 1. В данной схеме конечные разности температур хладагента и теплоносителя в конденсаторах первого и второго тепловых насосов при последовательном соединении берутся приблизительно равными. КПД первого ТН меньше КПД второго.

Таблица 1

Характеристики работы теплонасосной системы теплоснабжения

η_1	η_2	η_K^3	$\phi_{СН}$	$\eta_{ЭС}$	η_K^3	$\Delta T_{K1}, \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta T_{K2}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{O1}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{O2}, \text{ }^\circ\text{C}$	$G_T, \text{ кг/с}$	$G_C, \text{ кг/с}$	$T_{Г1}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{Г2}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_1, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_2, \text{ }^\circ\text{C}$
0,35	0,45	0,85	0,05	0,95	0,33	4,1	5	10,20	11,21	0,234	0,364	65	55	95	70

Обеспечим энерговывыгрыш, соблюдая условие $\Delta T_2 - \Delta T_1 > 0$, чтобы количество переданного тепла рабочим телом теплоносителю во втором ТН было большим, чем соответствующая величина в первом ТН.

Результаты изменения расхода условного топлива в зависимости от роста температуры конденсации хладагента первого и второго тепловых насосов представлены на рисунке 3.

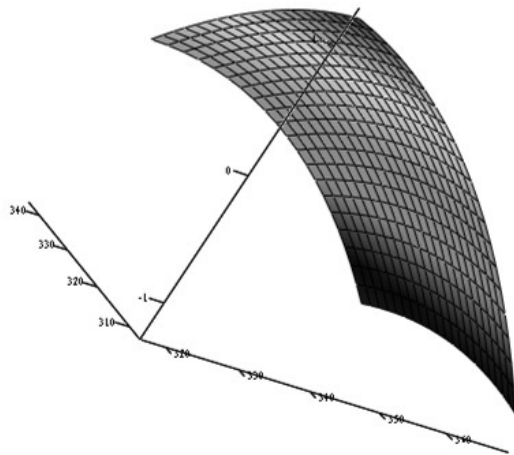


Рис. 3. Результаты изменения расхода условного топлива

Выводы

1. Рассмотрен пример, когда разница величин КПД тепловых насосов, формирующих ТНС, является величиной одного порядка малости с разностью температур хладагента и теплоносителя на выходе из конденсаторов. Энергетический выигрыш будет достигнут при условии, что $\Delta T_2 - \Delta T_1 > 0$, т. е. величина тепла переданного хладагентом теплоносителю в ТН2 будет больше, чем соответствующая величина в ТН1. Описанные зависимости позволяют снизить и без того невысокий расход электрической энергии, необходимой для создания комфортных условий внутренней жилой среды.

2. Несмотря на сэнергоэффективность, ТНС используются в России крайне редко, что обусловлено экономическими, эксплуатационными и организационными причинами.

Заключение

Тепловые насосы или теплонасосные установки (ТНУ), как технология, дают возможность частично вытеснить органическое топливо и обеспечить теплоснабжение с минимальными затратами первичной энергии. Проектирова-

ние, создание и практика использования ТН позволяет достичь энергосберегающих, экономических и экологических эффектов.

Вместе с тем, опыт использования ТНУ в многоэтажных жилых зданиях практически отсутствует. Практически полное отсутствие государственной поддержки, несовершенство законодательной базы в области энергосбережения и системы штрафных санкций в сфере экологии не

даёт энергоэффективным тепловым насосам перейти из «ноу-хау» и технологий будущего в статус традиционных источников тепловой энергии в РФ. Создание благоприятных условий на государственном уровне, а также оптимизация работы теплонаносных систем даст возможность уменьшить финансовую нагрузку на потребителей, улучшить экономическую ситуацию в жилищно-коммунальном комплексе и экологическую обстановку городского поселения.

Список литературы

1. Сенцова Е.М. Оценка эффективности применения энергосберегающих мероприятий при проектировании гражданских зданий / Е.М. Сенцова, Э.Е. Семенова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2020. - №2(40). - С.134-140.
2. Исанова А.В. Влияние КПД тепловых насосов теплонаносной станции на рациональные температуры конденсации рабочего тела тепловых насосов при малых относительных конечных разностях температур в их конденсаторах / А.В. Исанова, В.И. Лукьяненко // Вестник ВГТУ. – 2012. – Т. 8 – №11. – С 129-131.
3. Исанова А.В. Влияние параметров работы теплонаносной установки системы теплоснабжения на выбор энергосберегающего режима её функционирования / А.В. Исанова, Г.Н. Мартыненко, В.И. Лукьяненко // Научно-исследовательский журнал. – 2015. – №2 (33). – Часть 1. – С. 36-38.
4. Семенова Э.Е. Анализ внедрения энергосберегающих мероприятий при проектировании гражданских зданий / Э.Е. Семенова, С.Щ. Габитова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2017. - №3-4 (28-29). - С.8-13.
5. Петраков Г.Н. Распределение тепловой нагрузки между тепловым насосом и пиковой котельной / Г.Н. Петраков, В. Г. Стогней, А. В. Мартынов // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. Сер. Энергетика. – 2004. – №. 7.4. – С. 121- 125.
6. Картан А. Элементарная теория аналитических функций одной и нескольких комплексных переменных. М.: Иностранная литература, 1962. – 296 с.
7. Рубцова М. В. Учет влияния формы здания на его энергоэффективность / М.В. Рубцова, Э.Е. Семенова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 2 (36). С. 10–15.
8. Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply. Federal Ministry of Economics and Technology. – Berlin, (BMWi) Public relations. – 2010. – 32 p.
9. Second National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP) of the Federal Republic of Germany. Federal Ministry of Economics and Technology. – Berlin, (BMWi) Public Relations. – 2011. – 110 p.
10. Batukhtin A.G. Energy saving measures for public office buildings / A. G. Batukhtin, M. V. Kobylkin, S. G. Batukhtin, P. G. Safronov // The Fifth International Conference on Eurasian scientific development. – Vienna. – 2015. – С. 115-118.
11. Reich D. Теплонаносные климатические системы реальное энергосбережение и комфорт / D. Reich, А. Тутунджян, С. Козлов // Энергосбережение. — 2005. – № 5. – С. 21–24.

© Э. Е. Семенова, Т. В. Богатова, А. В. Исанова, М. В. Рубцова

Ссылка для цитирования:

Семенова Э. Е., Богатова Т. В., Исанова А. В., Рубцова М. В. Использование тепловых насосов для повышения энергоэффективности гражданских зданий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 1 (39). С. 29–32.