

**В.И. Володин**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

*Аннотация.* Проведен сравнительный анализ целесообразности использования аэротермальных тепловых насосов и альтернативных им электрических котлов для низкотемпературных систем отопления. Получено, что данные устройства конкурентоспособны с традиционными источниками, у которых стоимость отпускаемой теплоты покрывает полные затраты.

**V.I. Volodin**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## **PROSPECTS FOR APPLICATION OF AEROTHERMAL HEAT PUMPS**

*Abstract.* A comparative analysis of the feasibility of using aerothermal heat pumps and alternative electric boilers for low-temperature heating systems was carried out. It was found that these devices are competitive with traditional sources, in which the cost of supplied heat covers the full costs.

В настоящее время доминирующим источником первичной энергии, потребляемой в Республике Беларусь, является ископаемое топливо. Существенный вклад по его замещению в системах теплоснабжения может быть осуществлен за счет использования тепловых насосов (ТН), когда в качестве источника первичной энергии используется теплота окружающей среды: атмосферного воздуха, грунта, подземных и поверхностных источников воды.

Внедрение ТН не только повышает эффективность использования энергии, но одновременно приводит к снижению выбросов парниковых газов. Например, по данным Европейской ассоциации по тепловым насосам, в 2022 году в странах Европейского Союза (ЕС) продано 3 млн. ТН суммарной тепловой мощностью 28,18 ГВт, которые вырабатывают 45,045 ТВт·ч полезной энергии для отопления и охлаждения, предотвращая при этом выбросы 7,24 млн. т парниковых газов в эквиваленте CO<sub>2</sub> [1].

Наибольшее распространение получили парокомпрессорные ТН, которые широко используются для теплоснабжения зданий [1]. Приблизительно 84% приходится на аэротермальные (воздушные) ТН. Тепловые насосы отапливают примерно 16% жилых и коммерческих зданий в Европе. Применение ТН в многоквартирных домах встречается реже, чем в домах на одну семью.

Одной из задач Республиканской программы энергосбережения Беларуси 2021–2025 годы, является внедрение тепловых насосов в промышленности за счет использования тепловых ВЭР. Применению ТН с использованием возобновляемой низкопотенциальной теплоты окружающей среды для нужд отопления и обеспечения горячей водой жилых зданий внимание уделяется недостаточно. Рассмотрим целесообразность использования ТН с источником низкой теплоты атмосферным воздухом

Действительный коэффициент преобразования (отопительный коэффициент) ТН, характеризующий их энергетическую эффективность, изменяется в течение года в зависимости от температуры природного низкопотенциального источника теплоты: атмосферного воздуха, грунта, водных источников. Особенно это актуально для аэротермальных тепловых насосов. Поэтому для их анализа, рекомендуется использовать сезонный параметр эффективности  $SPF$  [2]. В этом случае коэффициент преобразования  $\varphi_{SPF} = Q_{ТН} / N_{э}$ , где  $Q_{ТН}$  – суммарное количество генерируемой теплоты за год для отопления и/или горячего водоснабжения;  $N_{э}$  – расход энергии электроприводом с учетом дополнительного суммарного расхода вспомогательной энергии за год.

Тепловые насосы должны замещать энергию от традиционных источников с электрическим КПД  $\eta_{э}$ , возобновляемой энергией. Принято, что коэффициент преобразования с учетом дополнительных неучтенных потерь должен подчиняться условию:  $\varphi_{SPF} = 1,15/\eta_{э}$ .

В странах ЕС стандартное значение  $\eta_{э} = 0,45$ . В Беларуси эффективность отпуска электроэнергии составляет 254,6 г у.т./кВт·ч [3]. Данный показатель, в пересчете, соответствует электрическому КПД  $\eta_{э} = 0,483$ , что соответствует условию  $\varphi_{SPF} > 2,36$ .

Рекомендации по предварительной оценке эффективности аэротермальных тепловых насосов с учетом влияния изменения температуры атмосферного воздуха отсутствуют [4]. Стандартизованный расчетный метод температурных интервалов с учетом повторяемости является трудоемким [2]. Вопрос о выборе конкретных базовых расчетных значений температуры атмосферного воздуха и коэффициента преобразования остается открытым. В данном

исследовании за расчетную температуру по данным строительной климатологии принимается средняя суточная температура воздуха  $-4,6^{\circ}\text{C}$  продолжительностью 131 суток.

Комплексный анализ проектов по внедрению ТН должен включать определение не только энергетической эффективности, но и экономической. Целесообразность проекта будет определяться положительным эффектом этих двух составляющих анализа.

В общем случае удельную стоимость теплоты, генерируемой тепловым насосом, можно рассчитать по модифицированной зависимости работы [5]

$$C_T = \frac{\frac{C A_M}{Q} \left[ \frac{r}{1 - (1+r)^{-T}} + \Theta \right]}{\tau_{\text{ТН}}} + C_M + \frac{1}{\varphi} C_{\Theta},$$

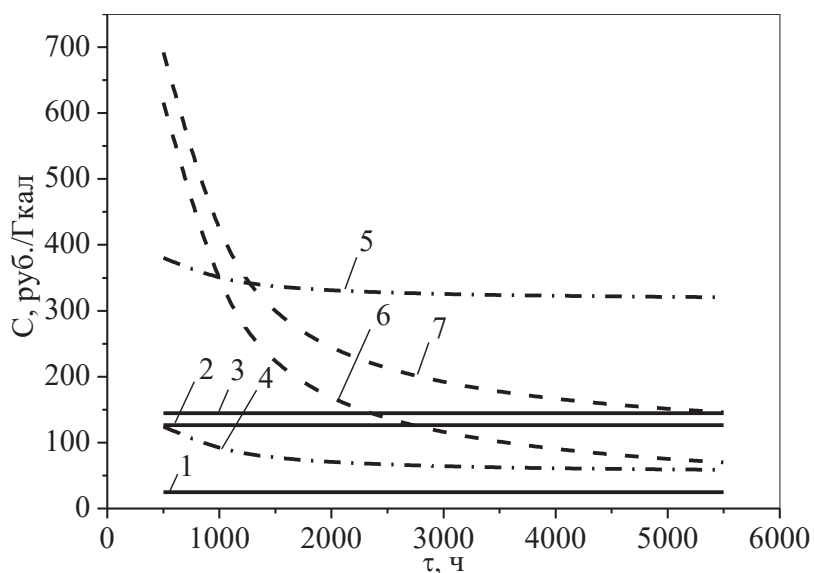
где  $Q$  – теплопроизводительность;  $C$  – стоимость;  $A_M$  – коэффициент, учитывающий стоимость монтажа ( $A_M > 1$ );  $r$  – ставка дисконта;  $T$  – срок службы теплового насоса;  $\Theta$  – эксплуатационные затраты;  $C_M$  – удельные затраты на эксплуатационные материалы;  $C_{\Theta}$  – тариф на потребляемую энергию;  $\varphi$  – коэффициент преобразования определяется из анализа цикла ТН (для электродвигателя  $\varphi = 1$ ).

В данном исследовании проводится сравнительный анализ влияния капитальных затрат и тарифов на электрическую энергию на целесообразность использования ТН и альтернативных электрических котлов теплопроизводительностью 10 кВт для низкотемпературных систем отопления.

В качестве базового примера рассмотрена эффективность ТН воздух-вода с хладагентом R410a при средней температуре воздуха  $-4,6^{\circ}\text{C}$ , используемого для нужд напольного отопления с температурой теплоносителя горячей воды  $+35^{\circ}\text{C}$ . Вначале на основе анализа цикла определялся коэффициент преобразования, который составил 3.45. Средневзвешенные капитальные затраты с учетом монтажа ТН составляет 25,3 тыс. руб., а для электродвигателя - 2775 руб. Текущие тарифы на электричество и теплоту для физических и юридических лиц, и ставка рефинансирования соответствуют данным Минэнерго и Национального банка Беларуси по состоянию на 1 октября 2023 года.

На рисунке, на основе приближенного численного анализа, показано влияние годового времени эксплуатации и тарифа на электроэнергию на стоимость генерируемой теплоты ТН и электрическим котлом. Видно, что при текущем субсидируемом

тарифе на потребление теплоты (кривые 1, 4 и 6) эксплуатировать тепловой насос и электродвигатель экономически нецелесообразно, так как стоимость получаемой теплоты на их основе существенно выше, чем от замещаемого источника. В случае применения льготного тарифа на электроэнергию стоимость производимой ими теплоты может конкурировать с альтернативными способами ее производства с полным возмещением стоимости (кривые 2–4 и 6) при приведенном времени работы ТН не менее 2500 ч/год и электродвигателя 500 ч/год. При одноставочном тарифе на электроэнергию ТН и электродвигатель являются не конкурентно способными (кривые 5 и 7). На экономичность использования ТН основное влияние оказывают капитальные затраты, а на использование электродвигателя – эксплуатационные затраты на потребление электроэнергии. На эффективность использования ТН существенно влияет время работы в течение года.



Стоимость теплоты  $C$  от централизованного источника (сплошные линии), теплового насоса (штриховые линии) и электродвигателя (штрихпунктирные линии) с учетом времени эксплуатации  $\tau$ :

- 1 – стоимость субсидируемой теплоты (24,7187 руб./Гкал);
- 2 – полное возмещение стоимости (126,29 руб./Гкал);
- 3 – стоимость для предприятий (144,62 руб./Гкал);
- 4, 6 –  $C_{э} = 0,0449$  руб./кВт·ч – отопление с отдельным учетом;
- 5, 7 –  $C_{э} = 0,2705$  руб./кВт·ч – одноставочный тариф

В 2016 году была принята Кигалийская поправка, дополняющая Монреальский протокол, предусматривающая поэтапный вывод из обращения хладагентов на основе гидрофторуглеродов и замещение их природными хладагентами. В данном исследовании были также рассмотрены природные хладагенты пропан R290 и изобутан R600a, которые показали повышение коэффициента преобразования

соответственно на 5,2 и 7,8%. Экономическая эффективность ТН при этом существенно не изменилась. Для заинтересованности потребителей теплоты при внедрении тепловых насосов, необходимы кроме тарифных льгот, ввести субсидии с учетом уменьшения выбросов парниковых газов.

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. На экономическую эффективность использования аэротермальных тепловых насосов для низкотемпературных систем отопления существенное влияние оказывают капитальные затраты, а для электрочкалов эксплуатационные затраты на электроэнергию.

2. Действующие нормативные акты не позволяют однозначно оценить эффективность использования аэротермальных тепловых насосов для теплоснабжения зданий доступными методами для широкого круга потребителей.

3. Требуется разработка унифицированного метода оценки энергетической и экономической эффективности данных тепловых насосов.

4. Текущее законодательство и цены на оборудование в Беларуси не позволяют заинтересовать потребителей для внедрения аэротермальных тепловых насосов.

### **Список использованных источников**

1. Heat Pumps in Europe. Key Facts & Figures. – [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://www.ehpa.org/2023/05/12/studies-publications/heat-pumps-in-europe-key-facts-and-figures/>. – Дата доступа: 01.10.2023.

2. Системы отопления зданий. Метод расчета характеристик и показателей эффективности системы. Часть 4-2. Системы теплоснабжения, системы с тепловыми насосами. СТБ EN 15316-4-2-2016. – Минск: Госстандарт, 2016. – 121 с.

3. Шенец Л. На пороге больших перемен. – Экономика Беларуси. – 2013. – № 4. – С. 70–75.

4. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. – Минск, 2020. – 142 с.

5. Senior expert symposium on electricity and the environment: key issues papers. – Vienna: IAAE, 1991. – 184 p.