

УДК 621.316

С.В. Жерносек, П.М. Буденный, Е.А. Каленько
Витебский государственный технологический университет
Витебск, Беларусь

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ

Аннотация. В мировой энергетике наблюдается рост развития низкопотенциальных источников теплоты и вторичных энергоресурсов, который определяет изменения в подходах к организации систем теплоснабжения. В работе проведен анализ эффективности использования теплонасосной установки (ТНУ) в системе теплоснабжения административного здания.

S.V. Zhernosek, P.M. Budyonny, E.A. Kalenko
Vitebsk State Technological University
Vitebsk, Belarus

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF USING A HEAT PUMP INSTALLATION IN THE HEAT SUPPLY SYSTEM OF AN ADMINISTRATIVE BUILDING

Abstract. In the global energy sector, there is an increase in the development of low-potential heat sources and secondary energy resources, which determines changes in approaches to the organization of heat supply systems. The work analyzes the effectiveness of using a heat pump unit (HPU) in the heat supply system of an administrative building.

По данным Международного энергетического агентства, к началу 2022 года во всем мире использовалось около 177 миллионов тепловых насосов, которые обеспечивали 7% мировых потребностей в отоплении. Лидерами в использовании ТНУ являются Китай и страны Северной Америки. В Европе ТНУ наибольшее распространение тепловые насосы получили в Норвегии (обеспечивают порядка 60 % потребностей систем отопления), Швеция (43%) и Финляндия (41%).

Согласно прогнозам экспертов, к 2030 году количество установленных ТНУ в мире увеличится более чем в три раза. При этом развитие рынка тепловых насосов во многом определяется динамикой цен на энергоносители и задачами международных проектов в области энергоэффективности и развития использования возобновляемых источников энергии.

Цель работы состоит в анализе эффективности использования теплонасосных установок для организации систем теплоснабжения на примере административного здания, что направлено на решение актуальных задач повышения энергоэффективности в рамках Государственной программы «Энергосбережение» Республики Беларусь на 2021–2025 годы.

Организация систем теплоснабжения с применением тепловых насосов позволяет обеспечить экономию использования первичного топлива по сравнению с использованием традиционных теплогенерирующих установок, децентрализацию теплоснабжения с ликвидацией длинных и незагруженных паро- и теплотрасс, способствует внедрению автономных систем теплоснабжения, снижению негативного воздействия токсичных отходов и выбросов на экологическую систему (таблица 1) [1–5].

Таблица 1 – Вредные выбросы за отопительный сезон (4968 ч) от различных теплоисточников тепловой мощностью 1,16 МВт [1]

Наименование выброса, т/г	Угольная котельная	Электрообогрев, газовая котельная	Тепловой насос
SO _x	21,77	38,02	10,56
NO _x	7,62	13,31	3,70
Твёрдые частицы	5,8	8,89	2,46
Фтористые соединения	0,182	0,313	0,087
Всего	34,65	60,53	16,81

Анализ эффективности производства тепловой энергии удобно проводить прямым счетом, по изменению удельных расходов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на производство тепловой энергии на заменяемом оборудовании, по изменению расхода ТЭР на единицу оборудования, по относительному снижению расхода топлива и т. п.

При анализе эффективности теплонасосной установки большое значение имеет определение реального коэффициента преобразования с учетом суммарного коэффициента потерь ТНУ (потери цикла, потери в компрессоре, потери от необратимости при теплопередаче и т.п.) [1, 4, 5].

На рис. 1 приведена зависимость коэффициента преобразования от температуры теплоносителя, подаваемого к потребителю теплоты $t_{\text{потр}}$, при различных температурах низкопотенциального источника теплоты, построенная в соответствии с данными источника [5].

Изображенные на рисунке зависимости указывают, что коэффициент преобразования теплового насоса резко уменьшается при увеличении температуры теплопотребителя и при уменьшении температуры низкопотенциального источника теплоты.

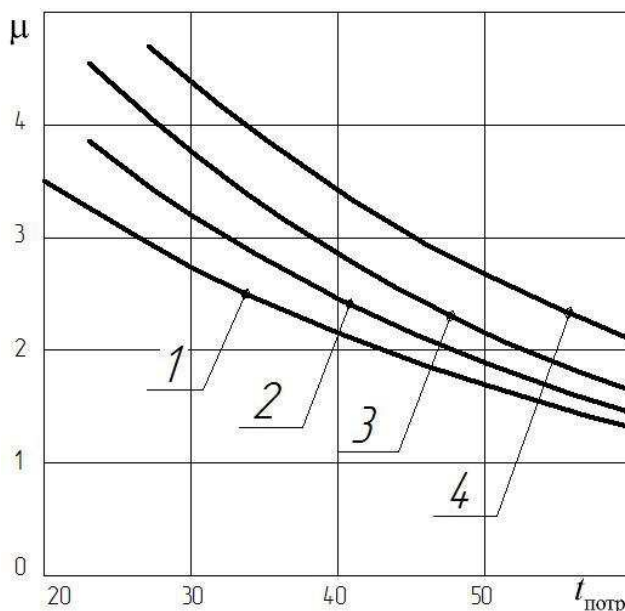


Рис. 1 – Зависимость коэффициента преобразования ТНУ от температуры воды потребителя теплоты $t_{\text{потр}}$, при различных температурах источника теплоты: 1 – 15 °C; 2 – 18 °C; 3 – 20 °C; 4 – 25 °C

В рамках работы проведен расчет расхода ТЭР при использовании ТНУ в системе отопления на примере различных тепловых источников систем теплоснабжения промышленного объекта: 1) электрического котла; 2) котлоагрегата на дизельном топливе; 3) твердотопливного пеллетного котла; 4) газового котлоагрегата; 5) теплонасосной установки Weswen WWHRC 10.

Расчет проводился на основе технических характеристик теплонасосной установки WWHRC 10: теплопроизводительность в режиме отопления 12,2 кВт (0,01049 Гкал/ч) при температуре теплоносителя (раствор пропиленгликоля) на входе/выходе со стороны источника 15/8 °C, температура на входе/выходе со стороны потребителя 40/45 °C.

Для расчета принята стоимость топлива для Республики Беларусь на 01.11.2023 года.

- дизельное топливо – 2,46 р/литр ($\rho = 840 \text{ кг/м}^3$);
- топливные пеллеты – 380 р / т;
- природный газ для бюджетных организаций 0,68489 р / м^3 ;
- электрическая энергия для юридических лиц – 0,33432 р / (кВт ч).

При анализе эффективности работы теплового насоса приняты значения коэффициента преобразования энергии $\mu = 3-4$, указанные производителем, затратами электрической энергии на работу циркуляционных насосов можно пренебречь, поскольку аналогичные устройства применяются при всех рассматриваемых схемах теплоснабжения.

В расчетах использована методика определения расхода топлива [1].

Удельный расход топлива - это масса топлива, необходимая для выработки 1 ГДж (Гкал) тепловой энергии (1 ГДж = 0,2388 Гкал)

$$B_{\text{уд.н}} = \frac{B}{3,6Q}, \frac{\text{кг}}{\text{ГДж}},$$

где B – расход топлива в кг/ч; Q – тепловая производительность котла в МВт.

Удельный расход условного топлива определяется по формуле

$$B_{\text{уд.у.т}} = B_{\text{уд.н}} \cdot \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{29,3} = \frac{B}{3,6Q} \cdot \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{29,3}, \frac{\text{кг у.т.}}{\text{ГДж}},$$

где B – расход топлива в кг/ч; Q – теплопроизводительность котла в МВт; $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – низшая рабочая теплота сгорания в МДж/кг.

Среднечасовой расход B отопительного котла можно определить по формуле:

$$B = \frac{Q \cdot 360000}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \frac{\text{кг}}{\text{ч}},$$

где Q – теплопроизводительность котлоагрегата, МВт; $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – низшая теплота сгорания рабочего топлива, МДж/кг; $\eta_{\text{к}}$ – коэффициент полезного действия котла, %.

Результаты расчета сведены в таблицу 2. Коэффициенты для пересчета в тонны условного топлива в таблице 2 выбраны в соответствии со справочными значениями. Анализ результатов показал, что при коэффициенте трансформации $\mu = 3-4$ (среднегодовой показатель) экономия топлива от применения ТНУ по сравнению с электрической котельной составляет до 0,25 т.у.т. / Гкал (при идеальных условиях). При $\mu = 2-3$ расход ТЭР сопоставим с котлоагрегатами на органическом топливе.

Таблица 2 – Среднечасовая стоимость тепловой энергии при приведенных условиях (12,2 кВт = 0,01049 Гкал/ч)

Источника тепловой энергии	Удельный расход натурального топлива, кг/Гкал (м ³ /Гкал)	Удельный расход условного топлива, кг у.т. / Гкал	Среднечасовой расход топлива, ед.	Среднечасовая стоимость, руб.
Электрокотел	–	392,6	12,2 кВт	4,07
Дизельный котел	107,8	156,4	1,1 л	2,71
Пеллетный котел	279,4	100,6	2,9 кг	1,24
Газовый котел	136,5	157,0	1,4 м ³	0,98
ТНУ (μ = 3–4)	–	118,1	3,7 кВт	1,22

Список использованных источников

1. Энергосберегающие, экологически чистые технологии теплоснабжения производственных и жилых помещений [Электронный ресурс]. – 2015. – URL: <http://www.ekip-tnu.ru> (дата обращения 09.09.2023).
2. Калькулятор тепловых насосов [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: <https://e-solarpower.ru/kalkulyator-teplovyh-nasosov> (дата обращения 11.09.2023).
3. Расход топлива для котлов [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: <http://sibheat.ru>. (дата обращения 09.09.2023).
4. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии: ОАО "ИНСОЛАР-ИНВЕСТ" [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029077>. (дата обращения 15.09.2023).
5. Антипов, Ю. А. Влияние температур низкопотенциального источника и потребителя теплоты на эффективность теплового насоса / Ю. А. Антипов [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2019. Т.20. № 1. – С. 14–19. DOI10.22363/2312-8143-2019-20-1-14-19.