



Кізеєв М. Д., к.т.н., доцент, Куницький М. О., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ СТІЧНИХ ВОД

В статті розглянуто та надано оцінку використання теплової енергії теплових насосів. Відображено практичне застосування джерел вторинної енергії зі сторони економічного застосування сучасних технологій, що дозволяють повторно застосовувати теплову енергію для потреб населення. Приведено порівняльну характеристику використання теплових насосів в порівнянні з природним газом. Відображено раціоналізацію джерел повторного використання тепла стічних з метою довгострокового використання та економії стандартних джерел енергії. Розраховано кількість утилізації потенційного тепла зі стічних за нормою споживання.

Ключові слова: первинна енергія, теплоємність, тепла енергія, тепловий насос, коефіцієнти умовного палива, добове споживання.

Постановка проблеми. Енергоефективність теплоти та оцінка практичного застосування генераторів теплоти здійснюється за допомогою розрахунку коефіцієнта використання первинної енергії, що постає ключовим критерієм енергоефективності. Питомі витрати енергії на виробництво тепла розраховуються, як відношення енергії палива використаного для вироблення тепла до кількості одержаної теплової енергії [8].

Збільшення чи зменшення значення первинної енергії визначає ефективність використання первинної енергії системою, що в свою чергу відображає коефіцієнт використання первинної енергії, як величину, що протилежна до витрат первинної енергії [6].

Перетворення первинної енергії на електростанціях здійснюється з урахуванням коефіцієнту корисної дії (ККД), що надає оцінку використання первинної енергії для електричних теплових насосів та коефіцієнт перетворення енергії (КПЕ або COP). COP – відношення тепла переданого для гарячого теплоносія до електроенергії підключеної до електродвигуна по відношенню до коефіцієнта μ , що додатково включає механічні втрати енергії в компресорі та втрати енергії в електродвигуні, сталі значення яких відображені в табл. 1.

Затрати первинної енергії для теплового насоса можна відобразити, як:

$$PE = 1/\eta \text{ е.с.} \cdot \eta \text{ пер.} \cdot COP . \quad (1)$$

Таблиця 1

Сталі значення механічних втрат енергії в компресорі та втрати енергії в електродвигуні

| ККД | Позначення | |
|-------------------------------------|---------------------|------|
| ККД перетворення енергії на станції | $\eta \text{ е.с.}$ | 0,4 |
| ККД системи енергоспоживання | $\eta \text{ пер.}$ | 0,95 |

Якщо для підігріву води використовувати електричний бойлер, що являється аналогом теплового насоса, варто враховувати коефіцієнти корисної дії електростанції та системи енергопостачання. А у випадку використання котлів для підігріву води варто враховувати, що затрати первинної енергії протилежні величині їх коефіцієнту корисної дії [1].

Кількість енергії, яка потрібна для підігріву 1 літра води ($Q_{отр} = 0,231 \text{ МДж}$) з урахуванням первинної енергії, яка потрібна для бойлерів та теплових насосів, виробляються на атомних електростанціях та при спалюванні природного газу. Витрати енергоносіїв розраховуються по тепловій спроможності використовуваного палива. Для порівняння величин практично використовувати коефіцієнти умовного палива [2]. Кількість використаних тонн умовного палива у теплових насосних установка розраховується наступним чином:

$$\Delta = V \cdot (PE_1 - PE_2), \quad (2)$$

де V – річна кількість тонн умовного палива на тепло без врахування коефіцієнта використання первинної енергії [4]; PE_1 та PE_2 – витрати первинної енергії на отримання теплової енергії (PE_1) та теплового насоса (PE_2).

Результати наведеного розрахунку та порівняльну характеристику по затратах виду палива наведено в табл. 2.

Тобто використання теплових насосів дозволяють заощаджувати використання умовного палива та сприяють збереженню витрат на підігрів води. Використання електричних котлів для підігріву води несе найбільші затрати умовного палива та немає якісного коефіцієнту корисної дії у порівнянні з тепловим насосом [5-7].



Таблиця 2

Порівняння витрат палива за видами

| | Природній газ | Тепловий насос | Електричний котел |
|---|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Q _{отр} , для нагріву 1 л води, МДж | 0,231 | 0,231 | 0,231 |
| ККД приладу | 0,96 | 4 | 0,98 |
| ККД електростанції | - | 0,4 | 0,4 |
| ККД систем енергозбереження | - | 0,95 | 0,95 |
| ПЕ | 1,04 | 0,66 | 2,69 |
| КВПЕ | 0,96 | 1,52 | 0,37 |
| Енергія палива / 1 год, МДж | 36887,81 | 23297,57 | 95092,11 |
| Теплова спроможність палива | 33,08 МДж/м ³ | 33,08 МДж/м ³ | 33,08 МДж/м ³ |
| Затрати енергоносіїв | 1115,11 м ³ | 704,28 м ³ | 2874,61 м ³ |
| Коефіцієнти перерахунку умовного палива | 1,154 тис. м ³ | 1,154 м ³ | 1,154 м ³ |
| Тонн умовного палива / год | 1,29 | 0,81 | 3,32 |
| Тонн умовного палива для отримання Q _{отр} (без урахування КВПЕ) | 1,24 | 1,24 | 1,24 |
| Кількість збережених тонн умовного палива / год | 0,47 | 0 | 2,5 |

Забезпечення гарячого водопостачання шляхом утилізації тепла стічних вод можливе при співпаданні годин максимального водоспоживання та максимальному потенціалу тепла стічних вод. Середньодобові витрати води в гуртожитках будуть відповідати для двох типів мешканців [3]:

- з загальними душовими, де загальна витрата води становить $q_t = 90$ л/добу, відповідно гарячої та холодної води: $q_r = 50$ л/добу та $q_x = 40$ л/добу;

- з душовими при всіх житлових кімнатах, де загальна витрата води становить $q_t = 140$ л/добу, відповідно гарячої та холодної води: $q_r = 80$ л/добу та $q_x = 60$ л/добу.

Кількість мешканців, які проживають у гуртожитках, станом на 2019 рік становить 1013 мешканців: 608 та 405 мешканців відповідно.

но. Варто відзначити, що в кожному з гуртожитків проживає певна кількість мешканців одного з типів мешканців, що вказані вище. Прийнятна температура гарячої води + 60° С, а холодної + 5° С, відповідно до цього середньодобове холодне водоспоживання гуртожитку № 7 становить:

$$\begin{aligned}q_{\text{доб х}} &= 90 \cdot 60 = 5,4 \text{ м}^3/\text{добу} \\q_{\text{доб х}} &= 518 \cdot 40 = 20,72 \text{ м}^3/\text{добу} \\q_{\text{доб х заг}} &= 5,4 + 20,72 = 26,12 \text{ м}^3/\text{добу}.\end{aligned}$$

Для гуртожитку № 8 середньодобове холодне водоспоживання становить:

$$\begin{aligned}q_{\text{доб х}} &= 90 \cdot 60 = 5,4 \text{ м}^3/\text{добу} \\q_{\text{доб х}} &= 315 \cdot 40 = 12,6 \text{ м}^3/\text{добу} \\q_{\text{доб х заг}} &= 5,4 + 12,6 = 18 \text{ м}^3/\text{добу}.\end{aligned}$$

Доцільно також підрахувати добові витрати гарячого водоспоживання для гуртожитків. Для гуртожитку № 7 гаряче водоспоживання становить:

$$\begin{aligned}q_{\text{доб г}} &= 90 \cdot 80 = 7,2 \text{ м}^3/\text{добу} \\q_{\text{доб г}} &= 518 \cdot 50 = 25,9 \text{ м}^3/\text{добу} \\q_{\text{доб г заг}} &= 7,2 + 25,9 = 33,1 \text{ м}^3/\text{добу}.\end{aligned}$$

відповідно для гуртожитку № 8:

$$\begin{aligned}q_{\text{доб г}} &= 90 \cdot 80 = 7,2 \text{ м}^3/\text{добу} \\q_{\text{доб г}} &= 315 \cdot 50 = 15,75 \text{ м}^3/\text{добу} \\q_{\text{доб г заг}} &= 7,2 + 15,75 = 22,95 \text{ м}^3/\text{добу}.\end{aligned}$$

Отже, загальна витрата холодної та гарячої води для гуртожитку № 7 становить:

$$q_{\text{доб заг}} = 26,12 + 33,1 = 59,22 \text{ м}^3/\text{добу},$$

а для гуртожитку № 8:

$$q_{\text{доб заг}} = 18 + 22,95 = 40,95 \text{ м}^3/\text{добу},$$

разом

$$q_{\text{заг}} = 59,22 + 40,95 = 100,17 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Графіки добового погодинного споживання гарячої води гуртожитків № 7 та 8 представлено на рисунках 1 та 2.

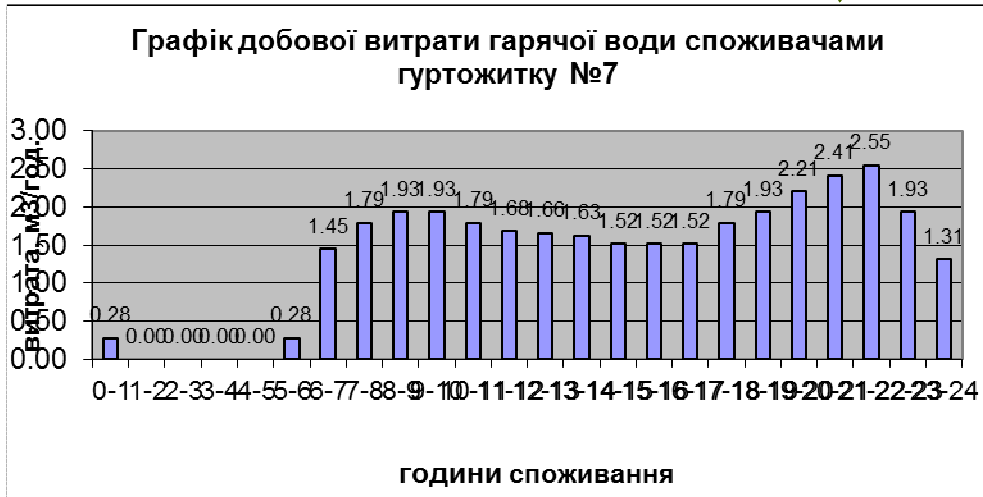


Рис. 1. Добова витрата гарячої води гуртожитку № 7

Основний час водоспоживання з 6:00 ранку до 23:00 вечора. Активність добового водовикористання можна прийняти 18 год/добу, а середнє використання гарячої води – 3,11 м³/год.

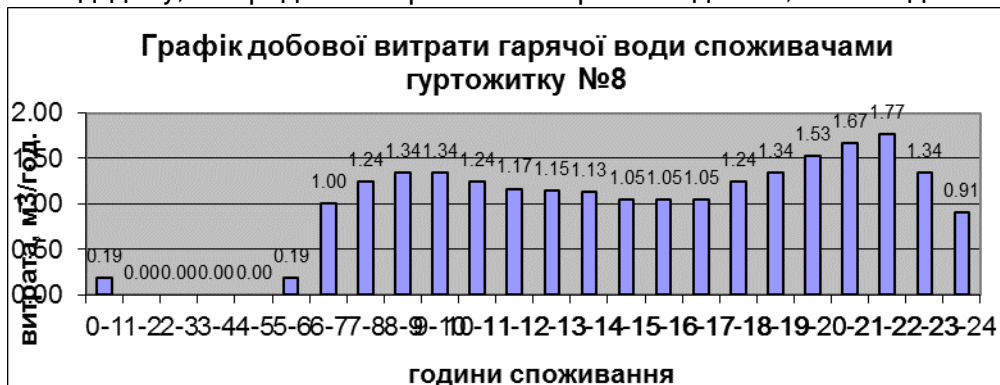


Рис. 2. Добова витрата гарячої води гуртожитку № 8

Кількість теплоти, що буде передатися для теплоносію, розраховується за формулою:

$$Q_{\text{ГВП}} = m \cdot C_p \cdot \Delta T, \quad (3)$$

де Q – теплова енергія [кДж];

m – маса стічних вод [кг];

C_p – 4,2 кДж/кг, · К – теплоємність стічних вод;

ΔT – різниця температур [К].

Використовуючи формулу 1, розрахуємо кількість тепла необхідного для підігріву води бойлером.

Використання стічних вод відповідне водоспоживанню, тому температура стічних вод розраховується за формулою, як температура суміші [5]:

$$t_s = \frac{t_x \cdot m_x + t_r \cdot m_r}{m_x + m_r}, \quad (4)$$

де m_x та m_r – масове використання холодної та гарячої води, кг/с.

Валовий потенціал стічних вод будемо розраховувати для активного водовикористання 18 годин на добу. При активному використанні водних ресурсів температура стічних вод буде розраховуватися, як пропорційна залежність між гарячою та холодною водами в години найбільшого споживання, приймаємо як $q_r = 55\%$ та $q_x = 45\%$. Температура суміші холодної та гарячої води:

$$t_{\text{сум}} = \frac{5 \cdot 0,45 + 60 \cdot 0,55}{1} = 35,25^\circ \text{C}.$$

Залежно від кількості забраної температури суміші вод можна виразити валовий потенціал стічних вод в табл. 3.

Таблица 3

Валовий потенціал стічних вод

| Періодика | Температура суміші, °C | Валовий потенціал стічних вод за зниженням температури суміші до: | | | | | |
|---------------------|------------------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C | 25°C | 30°C |
| | | кВт · год | | | | | |
| Година | 35,25°C | 109,76 | 91,61 | 74,47 | 55,33 | 37,19 | 19,05 |
| Доба | | 1975,68 | 1648,98 | 1340,46 | 995,94 | 669,42 | 342,9 |
| Опалювальний період | | 98,74 | 82,45 | 67,02 | 49,8 | 33,47 | 17,13 |
| Рік | | 721123,2 | 601877,7 | 489267,9 | 363518,1 | 244338,3 | 125158,5 |

Висновок. Активне водоспоживання протягом доби складає 18 годин з використанням 3,11 м³/год. Обмеження температурного режиму стічних вод після відбору тепла забезпечить самоплинність каналізаційної мережі та запобіжить замерзанню каналізаційних стоків.

1. Трубаев П. А., Гришко Б. М. Тепловые насосы : учеб. пособие. Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. 142 с.
2. Про розробку паливно-енергетичного балансу України : Постанова КМУ від 02.08.1995.
3. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація.
4. О тепловом ресурсе сточных вод и его использование / Г. П. Васильев, Д. Г. Закиров, И. М. Абуев и др. *Водоснабжение и канализация*. 2009. № 7-8. С. 50–53.
5. Qian J.



Heating performance analysis of the direct sewage source heat pump heating system. *Mechanic Automation and Control Engineering (MACE)* : International Conference on. 2010. Wuhan, 2010. P. 1337–1340. **6.** Perackova J., Podobekova V. Utilization of heat from sewage. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*. Bratislava, Slovakia. 2013. № 2(12). С. 7986. **7.** David J. Durrenmatt, Oscar Wanner. A mathematical model to predict the effect of heat recovery on the wastewater temperature in sewers. *Water Research*. 2014. Vol. 48. P. 548–558. **8.** Heat energy recovery potential from sewers in Melbourne / Pamminger F., Scott D., Aye L. and others. *Water Journal*. 2013. November. P. 68–73.

REFERENCES:

1. Trubaev P. A., Hrishko B. M. *Teplovye nasosy : ucheb. posobie*. Belhorod : Izd-vo BHTU im. V.H. Shukhova, 2009. 142 s. **2.** Pro rozrobku palyvno-enerhetychnoho balansu Ukrainy : Postanova KMU vid 02.08.1995. **3.** DBN V.2.5-64:2012. *Vnutrishnii vodoprovod ta kanalizatsiia*. **4.** O teplovom resurse stochnekh vod s eho ispolzovanie / H. P. Vasilev, D. H. Zakirov, I. M. Abuev i dr. *Vodosnabzhenye y kanalyzatsyia*. 2009. № 7-8. S. 50–53. **5.** Qian J. Heating performance analysis of the direct sewage source heat pump heating system. *Mechanic Automation and Control Engineering (MACE)* : International Conference on. 2010. Wuhan, 2010. P. 1337–1340. **6.** Perackova J., Podobekova V. Utilization of heat from sewage. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*. Bratislava, Slovakia. 2013. № 2(12). S. 7986. **7.** David J. Durrenmatt, Oscar Wanner. A mathematical model to predict the effect of heat recovery on the wastewater temperature in sewers. *Water Research*. 2014. Vol. 48. P. 548–558. **8.** Heat energy recovery potential from sewers in Melbourne / Pamminger F., Scott D., Aye L. and others. *Water Journal*. 2013. November. P. 68–73.

Kizieiev M. D., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Kunyskyi M. O., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY OF WASTEWATER HEAT ENERGY USE

Assessment of energy efficiency of wastewater heat energy use. The article deals with and evaluates the use of heat energy by heat pumps. The practical application of secondary energy sources from side of economic application of modern technologies allowing to reuse heat energy for the needs of the population is reflected. The comparative

characteristic of the use of heat pumps in comparison with natural gas is given. The rationalization of sources reuse of waste heat for long-term use and saving of standard energy sources is reflected. The amount of utilization of potential heat from the waste according to the rate of consumption is calculated.

***Keywords:* primary energy, heat capacity, heat energy, heat pump, conditional fuel coefficients, daily consumption.**

Кизеев Н. Д., к.т.н., доцент, Куницкий М. О., аспирант
(Национальный университет водного хозяйства и
природопользования, г. Ровно)

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ СТОЧНЫХ ВОД

В статье рассмотрена и дана оценка использования тепловой энергии тепловых насосов. Отражено практическое применение источников вторичной энергии со стороны экономического применения современных технологий, позволяющих повторно использовать тепловую энергию для нужд населения. Приведены сравнительную характеристику использования тепловых насосов по сравнению с природным газом. Отражено рационализацию источников повторного использования тепла сточных с целью долгосрочного использования и экономии стандартных источников энергии. Рассчитано количество утилизации потенциального тепла из сточных по норме потребления.

***Ключевые слова:* первичная энергия, теплоемкость, тепловая энергия, тепловой насос, коэффициенты условного топлива, суточное потребление.**
