

УДК 627.577

Оцінка потенціалу стічних вод у теплонасосних установках індивідуального будинку

В. А. Волощук¹, О. О. Грицина², М. В. Бляшина³, В. С. Жукова⁴,

¹к.т.н., докторант. Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна, volodya-28@yandex.ru

²к.т.н., доц. Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна, o.o.hrytsyna@nuwm.edu.ua

³к.т.н., асист. Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна, mariya_m2007@ukr.net

⁴к.т.н., ст. викл. Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна, veronika_vv@ukr.net

В роботі виконана попередня оцінка можливості використання стічних вод індивідуального будинку як низькопотенційного джерела для теплонасосної установки. На основі розв'язання рівнянь енергетичного балансу, теплопередачі та аналізу термодинамічного циклу теплового насоса показано, що дане джерело, в основному, можна розглядати як можливість підвищення ефективності та надійності роботи даної установки. Частка покриття теплових потреб будинку такою енергією є незначною і складає для умов України 8...15%. Хоча її можна збільшити до 30...40% за рахунок існуючих технологій підвищення енергоефективності будинку. Запропоновані та у першому наближенні проаналізовані можливі рішення використання потенціалу стічних вод індивідуального будинку у схемах його теплозабезпечення.

Ключові слова: стічні води, індивідуальний будинок, теплонасосна установка.

Вступ. Теплонасосні технології на сьогодні є одними з найбільш перспективних для забезпечення теплових потреб різних сфер діяльності людини [1-5]. При цьому, дані установки передбачають підвищення температурного рівня низькопотенційних джерел енергії (грунту, повітря, води тощо) до значень, можливих для використання в різних технологічних процесах (нагрів води системи опалення та гарячого водопостачання, сушіння матеріалів тощо). На сьогодні відомий та апробований досить широкий спектр техніко-технологічних схем з улаштування теплонасосних систем [1-5].

Актуальність дослідження. Перспективними при цьому є рішення, що передбачають використання енергії стічних вод різних процесів як низькопотенційного джерела для теплонасосної установки [2]. Одна з основних переваг цього рішення є відносно висока температура такого джерела.

Останні дослідження та публікації. Однією з класифікацій схем використання енергії стічних вод є їхній поділ залежно від розміщення місця утилізації енергії: безпосередньо в індивідуальному будинку, у колекторах системи водовідведення населених пунктів та на очисних станціях [6, 7]. Зазвичай, безпосередньо в будинку таку утилізацію реалізують за рахунок попереднього нагріву води ГВП у теплообміннику [6, 7].

У роботі [7] вказано, що енергією стічних вод житлових будинків можна забезпечити від 15 до 30 % їхніх потреб на теплозабезпечення.

Як показав аналіз, поки що в літературних джерелах міститься недостатньо інформації стосовно кількісної оцінки можливостей техніко-технологічних рішень з використання енергії стічних вод для роботи теплонасосних систем в індивідуальних будинках з різними теплотехнічними характеристиками.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є визначення частки покриття теплозабезпечення індивідуального будинку з різними теплотехнічними характеристиками енергією його стічних вод та розробка й попередня оцінка можливих схемних рішень використання таких теплоносіїв як низькопотенційного джерела для теплонасосних установок.

Методологія дослідження. При аналізі розглядається двоповерховий будинок на одну сім'ю із загальною опалювальною площею 150 м². Вихідні теплотехнічні параметри є такими: усереднене значення приведенного опору теплопередачі непрозорих огорожень складає 1,5 (м²·К)/Вт; значення приведенного опору теплопередачі прозорих огорожень становить 0,6 (м²·К)/Вт; кратність повітрообміну прийнята рівною 0,5 год⁻¹; внутрішні тепловиділення рівні 5 Вт/м²; температура повітря всередині будівлі приймається постійною і рівною 18 °С; частка заклення південного, західного та східного фасадів складає 30 %, а північного – 20 %. У початковому варіанті вентиляція будівлі є природною за рахунок інфільтрації через нещільності. У роботі також розглядався варіант підвищення теплотехнічних характеристик будинку до значень технічно можливих на сьогоднішній день. Теплотехнічні характеристики змінювалися відповідно до даних таблиці.

Таблиця

Зміна теплотехнічних характеристик будинку при проведенні чисельних досліджень

Характеристики будинку	Низькі теплотехнічні характеристики	Підвищені теплотехнічні характеристики
1	2	3
Усереднене значення приведенного опору теплопередачі непрозорих огорожень, (м ² ·К)/Вт	1,5	4,0
Приведений опір теплопередачі прозорих огорожень, (м ² ·К)/Вт	0,6	1,0
Коефіцієнт пропускання сонячної енергії прозорими огороженнями	0,6	0,7
Вентиляція	За рахунок інфільтрації	Механічна з ефективною рекуперацією 0,9

Для забезпечення гарячого водопостачання передбачений щодобовий на-

грів 150 літрів води від 10 °С до 50 °С. Якщо нагрів такої кількості води відбувається за 3 – 7 годин, то необхідно додатково передбачити 2,3 – 1,0 кВт встановленої теплової потужності.

Приймається, що добовий об'єм стічних вод становить від 1,5 до 2,0 м³. Температура такої води прийнята рівною 20...25 °С [2, 6, 7].

При аналізі можливих рішень використовувались рівняння теплових балансів та теплопередачі [5, 8]. Робота теплового насоса аналізувалася шляхом розрахунку його термодинамічного циклу [5].

Зазвичай теплонасосна установка покриває не всю встановлену теплову потужність споживача. Частина навантажень забезпечується додатково так званими піковими догрівачами. Доцільність влаштування бівалентних систем теплозабезпечення будівель обґрунтовують ряд авторів [9, 10, 11 та ін.]. У даній роботі ця особливість також врахована.

Результати та аналіз. Результати розрахунків показали, що загальна встановлена потужність будинку із початковими теплотехнічними характеристиками становить 20 кВт [8]. Щорічні потреби енергії для теплозабезпечення такого будинку рівні 28000 кВт·год. Якщо передбачити рішення з використання енергії стічних вод цього будинку, то, як показує аналіз, при охолодженні добового об'єму такої води на 5...10 °С можна покрити 8...15 % щорічних потреб енергії на забезпечення опалення та ГВП будинку теплом.

При підвищенні теплотехнічних характеристик будинку відповідно до даних, наведених у таблиці, встановлена теплова потужність знизиться до 9 кВт, а щорічні потреби енергії на теплозабезпечення – до 6000 кВт·год. При цьому, можливість покриття цих щорічних потреб на опалення та ГВП за рахунок енергії стічних вод складе вже 30...40 %.

Для можливості використання енергії стічних вод індивідуального будинку в роботі розроблено декілька рішень та виконана попередня оцінка їхньої ефективності.

Як показує аналіз, при використанні добового скиду води, можна забезпечити від 0,5 до 1,0 кВт добової теплової потужності системи опалення та ГВП будинку. По відношенню до встановленої теплової потужності будинку це є незначним. Тобто з точки зору зниження встановленої потужності джерела теплозабезпечення будинку за рахунок охолодження стічних вод можливості тут невеликі.

Разом з тим, у даному випадку можна використати вищий температурний рівень такого джерела (20...25 °С) порівняно з іншими існуючими низькопотенційними джерелами енергії (грунт, природна водойма, повітря).

Наприклад, за рахунок охолодження стічних вод проміжним теплоносієм можна передбачити підмішування останнього з основним потоком теплоносія ґрунтового теплообмінника теплового насоса. Принципова схема такого можливого рішення показана на рис. 1, а. У даному випадку, за рахунок вищої температури теплоносія енергії стічних вод можна було б підвищити температуру теплоносія на вході у випарник. А це, у свою чергу, може підвищити коефіцієнт перетворення теплового насоса.

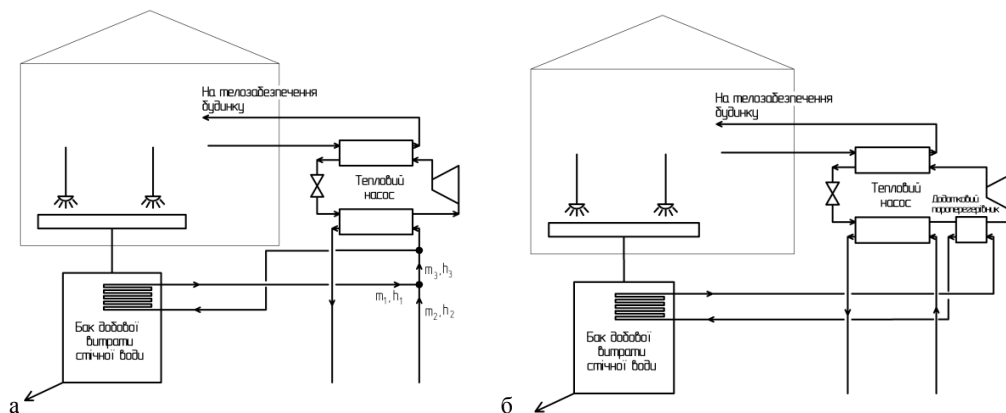


Рис. 1. Можливі схемні рішення використання стічних вод індивідуального будинку в якості низькопотенційного джерела для теплонасосної системи

Хоча тут варто відзначити, що співвідношення витрат теплоносіїв до змішування є досить великим. Тому суттєвого підвищення температури після змішування очікувати не варто.

Тепловий баланс вузла змішування (див. рис. 1, а) буде мати вигляд

$$h_1 m_1 + h_2 m_2 = h_3 (m_1 + m_2), \quad (1)$$

де h_1, h_2, h_3 – відповідно ентальпії теплоносія енергії стічних вод, основного теплоносія та теплоносія після змішування, кДж/кг; m_1, m_2, m_3 – відповідно, масові витрати цих теплоносіїв, кг/с.

Тоді для умов даного індивідуального будинку можна отримати підвищення температури теплоносія після змішування на 1...2 °С. При цьому є можливість забезпечити більше зростання цієї температури впродовж тих періодів опалювального сезону, де теплове навантаження нижче, шляхом зниження витрати основного теплоносія від ґрунтового колектора за рахунок системи автоматичного регулювання.

На рис. 2 наведені графіки залежності коефіцієнта перетворення теплового насоса (COP) від температури теплоносія низькотемпературного джерела енергії на вході у випарник для найбільш розповсюджених на сьогодні робочих тіл: R134a, R407c, R410a, R404a. Із рис. 2 видно, що практично незалежно від виду робочого тіла, при підвищенні температури теплоносія низькотемпературного джерела на 1 °С має місце зростання коефіцієнта перетворення теплового насоса на 0,15 абсолютних одиниць.

Отже, як показує попередній аналіз, при реалізації рішення з підмішування теплоносія енергії стічних вод індивідуального будинку з основним потоком теплоносія ґрунтового колектора теплового насоса є можливість підвищення коефіцієнта перетворення останнього на 0,15...0,30 абсолютних одиниць.

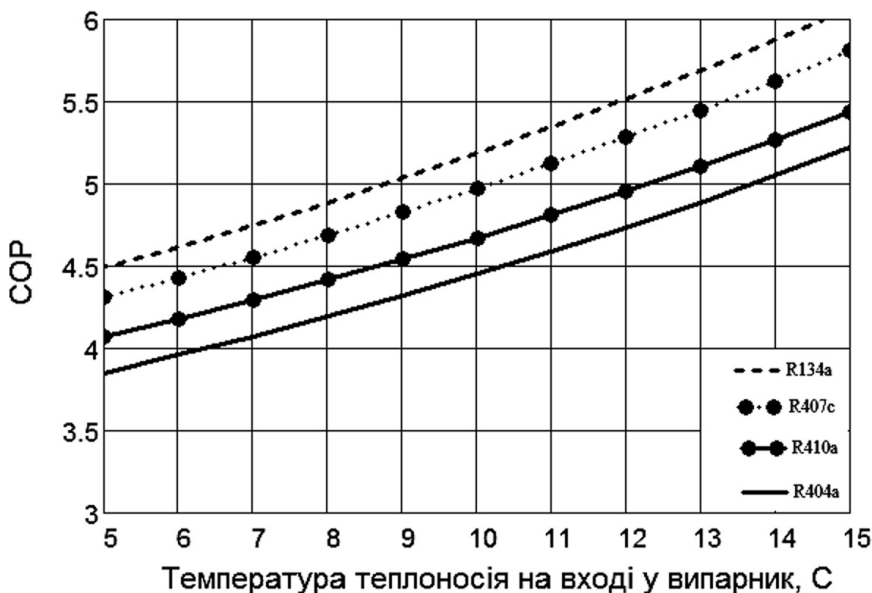


Рис. 2. Залежність коефіцієнта перетворення теплового насоса (COP) від температури теплоносія низькопотенційного джерела на вході у випарник

Іншим можливим рішенням могло б бути влаштування окремого теплообмінника після випарника теплового насосу по ходу робочого тіла для забезпечення його додаткового перегріву перед надходженням у компресор за рахунок проміжного теплоносія енергії стічних вод (рис. 1, б).

На рис. 3 показані цикли теплового насоса без перегріву робочого тіла у випарнику та з перегрівом. Як бачимо із даних графіків, перегрів робочого тіла може збільшити питому роботу стискання в компресорі від $l_{comp,1}$ до $l_{comp,2}$. Але, як видно із рис. 3, кількість питомої теплоти, що віддається в конденсаторі, також зростає від $q_{out,1}$ до $q_{out,2}$. У результаті можна забезпечити підвищення коефіцієнта перетворення теплового насосу.

Як показує попередній аналіз для умов даного будинку, влаштування додаткового пароперегрівника після випарника теплового насосу забезпечує підвищення коефіцієнта перетворення теплового насоса на 0,1...0,2 абсолютних одиниць. Але основною перевагою такого рішення є підвищення ефективності та надійності компресора. Відомо, що надходження пари в компресор навіть з невеликою кількістю вологи суттєво погіршує його ефективність, умови експлуатації та надійність [5]. Крім того, оскільки в запропонованій схемі теплоносієм енергії стічних вод циркулює в окремому контурі, то дане рішення можна застосовувати не тільки для теплових насосів типу «грунт-вода» або «вода-вода», але і для типу «повітря-вода». В останньому випадку, через нижчі температури кипіння робочого тіла у випарнику, можна забезпечити його більший перегрів у такому пароперегрівнику.

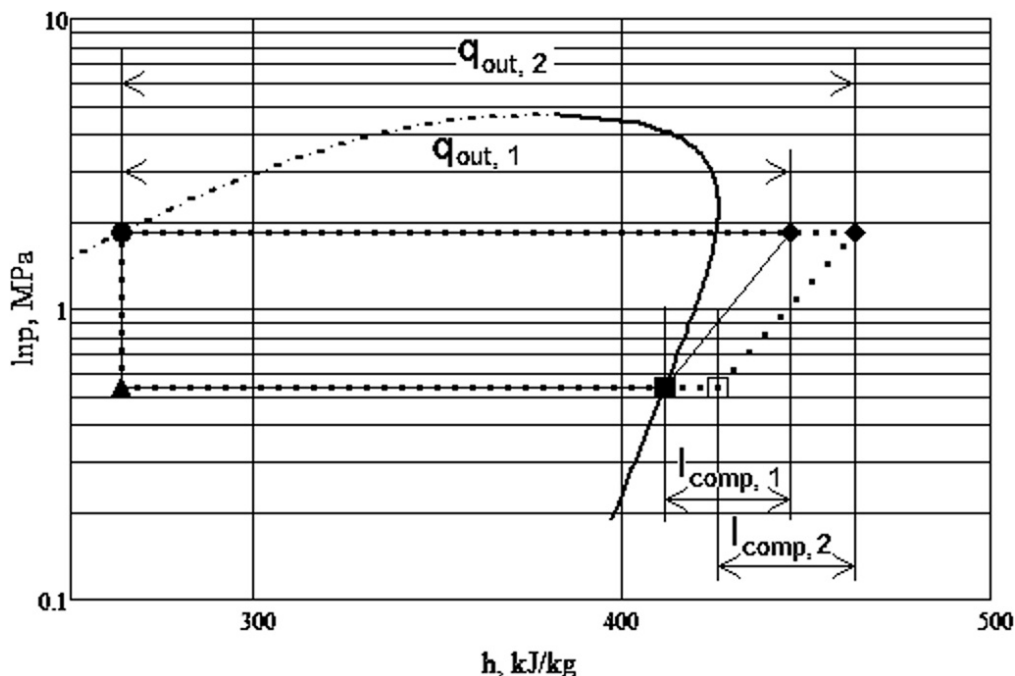


Рис. 3. p,h – діаграма циклу теплового насоса без та з перегрівом робочого тіла після випарника

Отже, як показує аналіз, основною перевагою використання теплонасосною установкою енергії стічних вод безпосередньо у будинку є їхня відносно висока температура. А це можна використати, у першу чергу, для підвищення ефективності та надійності роботи теплового насоса.

Висновки. У роботі зроблена попередня оцінка можливості використання енергії стічних вод індивідуального будинку для роботи теплонасосної установки.

Аналіз показав, що, в загальному випадку, за рахунок утилізації енергії таких вод можна забезпечити від 8 до 40 % щорічних потреб будинку на його теплозабезпечення. Більша частка покриття потреб відповідає будинку з підвищеними теплотехнічними характеристиками.

Запропоновано рішення, які передбачають підмішування теплоносія енергії стічних вод з теплоносієм основного низькопотенційного джерела теплонасосної системи або забезпечення енергією цих вод додаткового перегріву робочого тіла після випарника теплового насоса. Для теплонасосної установки дані рішення в першу чергу забезпечують підвищення її ефективності, зокрема коефіцієнта перетворення на 0,1...0,3 абсолютних одиниць, та надійності й довговічності роботи.

Перспективи подальших досліджень. У подальшому передбачається теоретичне та експериментальне дослідження запропонованих рішень з урахуванням режимів роботи системи очищення та відводу відводу стічних вод, теплових режимів будинку та системи теплозабезпечення.

Подяки. Стаття підготовлена в рамках виконання проекту “Комплекс

ресурсозберігаючих технологій з очищення стічних вод та використання тепла стічних вод цивільних та військових об'єктів” (номер державної реєстрації НДР 0116U007384).

Література

1. Ni L. A review of heat pump systems for heating and cooling of buildings in China in the last decade / L. Ni, J. Dong, Y. Yao, Ch. Shen, D. Qv, Xu. Zhang // *Renewable Energy*. – 2015. –Vol. 84. – P. 30–45.
2. Hepbasli A. A key review of wastewater source heat pump (WWSHP) systems / A. Hepbasli, E. Biyik, O. Ekren, H. Gunerhan, M. Araz // *Energy Conversion and Management*. – 2014. –Vol. 88. – P. 700–722.
3. Colak N. A review of heat-pump drying (HPD): Part 2 – Applications and performance assessments / N. Colak, A. Hepbasli // *Energy Conversion and Management*. – 2009. –Vol. 50. – P. 2187–2199.
4. Zhai X.Q. A review for the applications and integrated approaches of ground-coupled heat pump systems / X.Q. Zhai, M. Qu, X. Yu, Y. Yang, R.Z. Wang // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2011. –Vol. 15. – P. 3133–3140.
5. Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов / Т. В. Морозюк. – Одесса: Негоциант, 2006. – 721 с.
6. Culha O. Heat exchanger applications in wastewater source heat pumps for buildings: A key review / O. Culha, H. Gunerhan, E. Biyik, O. Ekren, A. Hepbasli // *Energy and Buildings*. – 2015. –Vol. 104. – P. 215–232.
7. Schmid F. Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers / F. Schmid // *Proceedings of the 9th IEA Heat Pump Conference*. Zürich, May, 19-23, 2008. – Zürich, 2008. – P. 1-12.
8. Малявина Е. Г. Теплопотери здания: справочное пособие / Е. Г. Малявина. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 144 с.
9. Кузнецов М.А. Экоерго-экономическое обоснование применения теплонасосных установок в технологических процессах промышленности и коммунальной теплоэнергетики: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06 / Кузнецов Михаил Александрович; Национальная академия наук Украины, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного - Харьков, 2012. – 164 с.
10. Арсеньев В. М. Теплонасосна технологія енергозбереження: навч. посіб. / В.М. Арсеньев. – Суми: СумДУ, 2011. – 283 с.
11. Волощук В.А. Техніко-економічна оптимізація переходу на теплопостачання із використанням теплового насоса / В.А. Волощук, М.А. Мартиняк, Й.С. Мисак // *Вісник інженерної академії України*. – 2014. – № 2. – с. 259–265.

References

1. Ni L. “A review of heat pump systems for heating and cooling of buildings in China in the last decade.” *Renewable Energy*, vol. 84, 2015, P. 30–45.
2. Hepbasli A. “A key review of wastewater source heat pump (WWSHP) systems.” *Energy Conversion and Management*, vol. 88, 2014, P. 700–722.
3. Colak N. “A review of heat-pump drying (HPD): Part 2 – Applications and performance assessments.” *Energy Conversion and Management*, vol. 50, 2009, P. 2187–2199.
4. Zhai X. Q. “A review for the applications and integrated approaches of ground-coupled heat pump systems.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, 2011,

pp. 3133–3140.

5. Morozuyuk, T. V. *Teoriya holodil'nyh mashin i teplovyh nasosov*. Negociant, 2006. Print.

6. Culha O. “Heat exchanger applications in wastewater source heat pumps for buildings: A key review.” *Energy and Buildings*, vol. 104, 2015, pp. 215–232.

7. Schmid F. “Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers.” *The 9th IEA Heat Pump Conference, Zürich, May, 19-23, 2008*, 2008, pp. 1-12.

8. Maliavina E. G. *Teplotopieri zdaniia: spravochnoie posobiie*. ABOK-PRESS, 2007. Print.

9. Kuznyetsov M. A. *Eksergo-ekonomonicheskoe obosnovaniie primienieniia teplonasosnyh ustanovok v technologicheskikh protsesah promyshlennosti i kommunalnoi teploenergetiki*. Diss. National Academy of Sciences of Ukraine. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems, 2012.

10. Arseniev V. M. *Teplonasosna tekhnologiiia energozberezheniia*. SumGU, 2011.

11. Voloshchuk V.A. “*Tehniko-ekonomichna optymizatsiia perehodu na teplopостачання iz vykorystanniam teplovogo nasosa*.” *Visnyk Inzhenernoi Akademii Ukrainy*, no.2, 2014.

УДК 627.577

Оценка потенциала сточных вод в теплонасосных установках индивидуального дома

В.А. Волощук¹, О.О. Грицина², М.В. Бляшина³, В.С. Жукова⁴,

¹к.т.н., докторант. Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”, г. Киев, Украина, volodya-28@yandex.ru

²к.т.н., доц. Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно, Украина, o.o.hrytsyna@nuwm.edu.ua

³к.т.н., ассист. Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно, Украина, mariya_m2007@ukr.net

⁴к.т.н., ст. препод. Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”, г. Киев, Украина, veronika_vv@ukr.net

Аннотация. В работе сделана предварительная оценка возможности использования сточных вод индивидуального дома в качестве низкопотенциального источника для теплонасосной установки. На основании решения уравнений энергетического баланса, теплопередачи и анализа термодинамического цикла теплового насоса показано, что в данном случае этот источник, в основном, можно рассматривать как возможность повышения эффективности и надёжности работы данной установки. Доля покрытия нужд теплообеспечения дома такой энергией является незначительной и составляет для условий Украины 8...15%. Хотя её можно увеличить до 30...40% путём существующих технологий повышения энергоэффективности дома. Предложены и в первом приближении проанализированы возможные решения использования потенциала сточных вод индивидуального дома в схемах его теплообеспечения.

Ключевые слова: сточные воды, индивидуальный дом, теплонасосная установка.

UDC 627.577

Assessment of Domestic Waste Water Potential for In-House Heat Pump Systems

V. Voloshchuk¹, O. Hrytsyna², M. Blyashyna³, V. Zhukova⁴

¹PhD, doctoral student. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, volodya-28@yandex.ru

²PhD, associate professor. National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine, o.o.hrytsyna@nuwm.edu.ua

³PhD, assistant professor. National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine, mariya_m2007@ukr.net

⁴PhD, senior lecturer. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, veronika_vv@ukr.net

Abstract. A preliminary assessment of the possibilities of utilizing domestic waste water as a low-temperature source for a heat pump is made in the paper. Based on energy balance and heat transfer equations and analysis of thermodynamic cycle of the heat pump it is shown that in case of domestic usage this source can be regarded mostly as an opportunity to improve the efficiency and reliability of the heat pump. In conditions of Ukraine such type of thermal energy source can cover small share of heat demand – 8...15 %. Although it is possible to increase this share to 30...40 % with the help of existing technologies of improving thermal performance in a building. Possible solutions of utilizing domestic used water in home heating equipment are proposed and analyzed.

Keywords: domestic wastewater, single-family home, heat pump system.

Надійшла до редакції 21 жовтня 2016 р.