

УДК: 628.32

**ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМИ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СТИЧНОЇ ВОДИ (ОГЛЯД)****Басок Б.І.**, чл.-кор. НАН України, **Новіцька М.П.**, канд. техн. наук, **Гончарук С.М.**, канд. техн. наук*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна*<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2020.4>

В роботі проаналізовано дослідження, технології, та устаткування, що стосуються систем утилізації теплоти стічних вод. Наведено основні фактори, що впливають на розвиток галузі та впровадження таких систем.

В статье анализируются исследования, технологии и оборудование, касающиеся систем утилизации теплоты сточных вод. Приведены основные факторы, влияющие на развитие отрасли и внедрение таких систем.

The paper analyzes research, technologies and equipment related to wastewater heat utilization systems. The main factors influencing the development of the industry and the implementation of such systems are given.

Бібл. 21, табл. 1, рис. 1.

**Ключові слова:** вторинні енергоресурси, перспективи використання, стічна вода, утилізація, теплові насоси.**Перелік позначень:**

АЕС – атомна електрична станція;

ТЕС – теплова електрична станція;

ТН – тепловий насос.

Зростання тарифів на енергоресурси та попиту на них, скорочення запасів традиційних джерел енергії та зменшення можливості доступу до них спонукає до пошуку нових та удосконалення існуючих можливостей для енергозбереження та підвищення енергоефективності систем життєдіяльності.

Стічні каналізаційні води можуть служити джерелом енергії для теплозабезпечення будівель за допомогою теплових насосів. Ця технологія традиційна і вже досить випробувана в світі. Дослідження, проведені в Німеччині і Швейцарії, показали, що близько 3% від усіх будівель можуть бути забезпечені опаленням і гарячою водою використовуючи низько потенційну теплоту стічних вод [1].

Основні фактори, що впливають на розвиток галузі та впровадження систем утилізації теплоти стічних вод проаналізовано в роботі [2]. До таких факторів можна віднести: соціальні, політичні, економічні, технологічні, юридичні та екологічні (див. табл. 1.)

Політичні фактори, що впливають на поширення систем утилізації теплоти стічних вод, включають наявність стратегії впровадження принципу сталого розвитку, наявність стратегії підтримки інноваційних рішень в управлінні енергією та сприяння використанню систем утилізації на рівні місцевого самоврядування. Стратегії впровадження принципу сталого розвитку та стратегії підтримки інноваційних рішень в управлінні енергією вважаються важливим інструментом боротьби зі зміною клімату. На рівні місцевого самоврядування, є необхідність сприяння використанню систем утилізації.

Група економічних факторів, з іншого погляду, включає капітальні витрати, понесені при застосуванні систем утилізації теплоти стічної води, рівень державного фінансування та наявність додаткових коштів для побудови систем утилізації та рівень фінансової вигоди, що інвестор отримує при використанні систем утилізації. Капітальні затрати та затрати на експлуатацію є вагомим фактором при виборі джерела енергії. На поширення систем утилізації теплоти стічної води також суттєво впливає наявність економічної вигоди, яка в свою чергу залежить від ряду таких параметрів як, тип використовуваного теплообмінника, його вартість, продуктивність установки та інше. За відсутності відчутної економічної вигоди на поширення систем утилізації теплоти стічної води можуть впливати державне та грантове фінансування.

Інша група факторів - це соціальні фактори. Вони включають рівень соціального сприйняття нетрадиційних рішень, що залежать від типу джерела енергії, попереднього досвіду, тощо. Важливе значення має також схильність суспільства до використання інноваційних рішень та рівень екологічної свідомості населення. Розповсюдження систем часто обумовлюється готовністю суспільства до участі в процесі їх здійснення. Також слід враховувати безпеку та комфорт користувачів, адже незалежно від потреби у зменшенні витрат на опалення та підігрів води, споживачі хочуть гарантувати стабільний доступ до них. Крім того, є необхідність в пошуку рішень, які не

Таблиця 1 . Фактори, що впливають на впровадження систем утилізації теплоти стічних вод [2]

Політичні	
1	Наявність стратегії впровадження принципів сталого розвитку
2	Наявність стратегії підтримки інноваційних рішень в управлінні енергією
3	Сприяння використанню систем утилізації на рівні місцевого самоврядування
Економічні	
1	Рівень капітальних витрат
2	Рівень державного фінансування та наявність інших коштів для побудови систем утилізації
3	Рівень фінансової вигоди, що має місце при використанні систем утилізації
Соціальні	
1	Схильність суспільства до використання екологічних рішень
2	Рівень соціального сприйняття систем утилізації стічної води
3	Рівень безпеки та комфорту користувача системи утилізації теплоти
Технологічні	
1	Наявність пропозицій систем, призначених для рекуперації теплоти стічної води
2	Частота відмов і необхідна частота технічного обслуговування систем утилізації теплоти
3	Досвід роботи з такими системами
Юридичні	
1	Обсяг вимог, що стосуються впливу опалювальної установки на оточуюче середовище
2	Узгодженість та стабільність законодавчих норм щодо використання систем утилізації
3	Переваги щодо використання стійких технологій у державних закупівлях
Екологічні	
1	Запаси викопних енергоресурсів
2	Якість атмосферного повітря
3	Можливість зменшити споживання викопного палива та викиди парникових газів

лише дозволять зменшити споживання енергії, але й будуть швидко інсталюватись та не потребувати частого обслуговування обладнання.

До технологічних факторів, належить наявність пропозицій обладнання, призначеного для утилізації теплоти стічної води. Обмежена кількість доступних моделей систем утилізації теплоти стічної води або взагалі їх відсутність, викликає необхідність пошуку відповідних об'єктів поза межами країни. Можливість надмірного забруднення поверхні каналізаційного теплообмінника має істотне значення, оскільки призводить до зниження ефективності теплопередачі від зливної води до нагрівальної води впродовж терміну експлуатації. Додатковий бар'єр для розширення систем утилізації теплоти стічної води включає нестачу досвіду їх експлуатації. Хоча ідея використання теплоти стічних вод стає все більш поширеною серед експлуатаційників каналізаційних систем за межами України, у окремих споживачів енергії це джерело енергії все ще викликає багато суперечок. Наслідок цього є відсутність інтересу

до систем утилізації стічної води, що призводить до того, що звичайне паливо є домінуючим способом приготування гарячої води для побутового використання.

Ситуація не покращується через відсутність будь-яких норм та правил щодо використання рекуперації теплоти стічної води. Акцент робиться на використанні відновлюваних джерел енергії, але потенціал енергії стічних вод ігнорується. Як наслідок чинні правові норми в тому числі України не забезпечують повного захисту від небезпеки, що виникає від нераціонального управління енергією.

Остання група складається з факторів навколишнього середовища, до яких належать запаси викопного палива та якість атмосферного повітря. Як відомо, запаси викопного палива не є нескінченними, і їх спалювання призводить до матеріальної деградації природного середовища. З цієї причини необхідно використовувати технології, що дозволяють скоротити процес спалювання природних палив, в тому числі за допомогою рекуперації теплоти стічної води.

Використання енергії стічних вод можна поділити на три категорії за місцем відбору теплоти [1]: низькопотенційна теплота стічних вод може бути відібрана на очисних спорудах, в каналізаційних колекторах, що ведуть до очисних станцій і безпосередньо в будинках (рис. 1).

#### **Використання теплоти стічної води очисних споруд**

Роботи [1,3-6] присвячені видобутку теплоти стічної води на очисних спорудах.

В [1] аналізується використання теплоти очищеної стічної води на очисних спорудах. Автори вважають, що енергетичний потенціал очищених стічних вод значно вищий, ніж у неочищеної стічної води. Причина цього полягає в тому, що є можливість більше охолодити очищені стічні води перед скиданням такої води у водойму або річку, для водної фауни, таке охолодження стічних вод навіть бажано. На жаль, в багатьох випадках, великий енергетичний потенціал очищених стічних вод не може бути використаний оскільки очисні споруди розташовані за межами житлових районів, де немає споживачів теплоти. В ідеалі енергія від очищених стічних вод може використовуватися в самій очисній споруді, наприклад, для нагрівання резервуару для розпарювання або для висушування мулу [1]. В [3] описано реалізацію одного такого проекту тепло- та холодопостачання поштового сортувального бюро Мюлліген, Швейцарія, що виробляється на розташованих поруч очисних спорудах м. Шлірен. Трубопровідна мережа довжиною 1,5 км між очисною спорудою та поштовим центром працює з осені 2006 року.

В роботах [4,5], проаналізовано технічні характеристики проектної пропозиції по будівництву

і експлуатації теплонасосної станції з електричним та турбінним приводом, що використовує низькопотенційну теплоту стічних вод Бортницької станції аерації для теплопостачання житлових мікрорайонів «Осокорки» і «Позняки» м. Києва, Україна. Оцінено скорочення кількості споживання природного газу або умовного палива при впровадженні теплонасосної станції з електричним та турбінним приводом. Обсяги скорочення палива – до 140 млн. нм<sup>3</sup> щорічно, при встановленні десяти ТН Unitop 50FY з електроприводом 6,5 МВт, так як електрична енергія для приводу ТН може бути вироблена на вугільних ТЕС або АЕС [4].

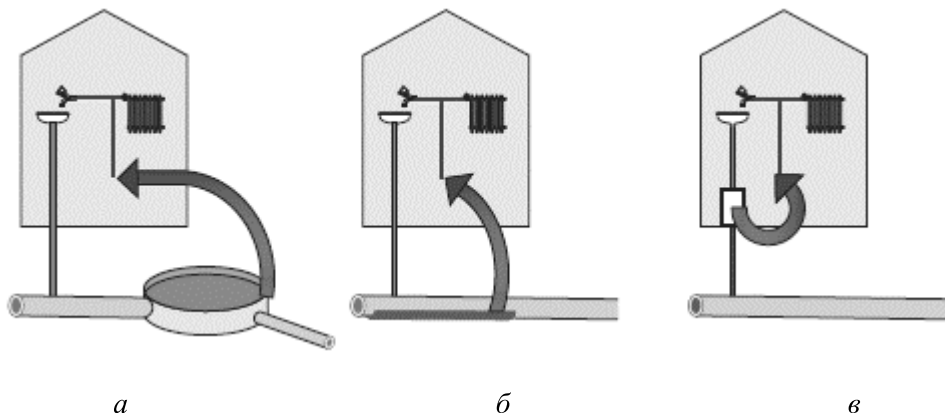
В [6] запропоновано технологічне рішення та наведена схема утилізації теплоти міських стічних вод на очисних спорудах м. Владивосток, Росія. Проведено аналіз ефективності роботи в схемі запропонованих теплових насосів. Визначено основні фактори, що впливають на продуктивність теплових насосів з використанням низькотемпературного джерела теплоти.

#### **Використання теплоти стічних вод очисних споруд каналізаційних колекторів**

Теплота стічних вод може бути відібрана також в каналізаційних колекторах [7-10].

В [7] описано пілотний проект, що впроваджено в м. Золотурн, Швейцарія (16 тис. мешканців). При здійсненні реконструкції каналізаційної мережі встановлено енергетичну установку для вилучення теплоти стічних вод. В роботі також оцінено каналізацію м. Золотурн, щодо ділянок придатних для використання теплоти стічної каналізаційної води.

Оцінка теоретичного потенціалу стічних вод опалення будівель



**Рис. 1.** Існуючі системи утилізації стічної води [1]. а – системи, які можуть бути встановлені на очисних спорудах; б – системи, які можуть бути встановлені в каналізаційних колекторах, що ведуть до очисних станцій; в – системи, які можуть бути встановлені в будинках.

на прикладі міста Градец Кралове, Чехія (90 тис. мешканців) наведено в [8]. Класифікаційна схема, що включає такі критерії, як теоретично доступна теплота, діаметр каналізації, кількість паралельних модулів теплообмінника в перерізі каналізації, гідравлічні умови та потенційне забруднення за рахунок росту біоплівки.

В роботі [9], розглянуто можливість вилучення теплового потенціалу стічної каналізаційної води для теплозабезпечення будівель. Представлено приклад конструкторського розрахунку рекуперативного теплообмінного апарату, який може вилучати теплоту стічної води каналізаційного колектору.

При проектуванні теплообмінного апарату в [10] використовувалися дані про температуру стічних вод в Північному Китаї, розрахункове значення температури становило 12 °С, при цьому було відзначено, що мінімальне значення в зимовий період може досягати значень нижче 10 °С.

#### ***Використання теплоти стічних вод безпосередньо в будинках***

Питання енергозбереження та економічної доцільності використання пристроїв утилізації теплоти стічної води безпосередньо в домогосподарстві розглядалися раніше в роботах [11-21].

В [12] наведено метод підрахунку потенціалу енергозбереження, що можна вилучити з стічної води безпосередньо в будинках. Серед вітчизняних робіт в [13] наведено аналіз існуючих на той час пристроїв і систем відбору низько потенційної теплоти стічних вод систем каналізації. Зроблено висновки про те, що використання цього потенціалу дозволило б значно підвищити ефективність використання традиційних джерел енергії. Серед апаратів, що можуть бути встановлені в будинках наведено PowerPIPE канадської фірми RenewABILITY.

Дані про масову і об'ємну витрату рідини, температуру води, частоту використання (в залежності від кількості проживаючих осіб) для різних побутових пристроїв в домогосподарствах різних країн можна знайти в роботі [14]. Крім того, в ній описана методика розрахунку потенціалу енергозбереження в масштабах міста на прикладі будинків в місті Еш-сюр-Альзетт, Люксембург.

На даний момент існує така класифікація теплообмінників для утилізації теплоти стічних вод в будинках: трубні (вертикальні і горизонтальні) і об'ємні. Дані про вертикальні трубні теплообмінники є в роботах [13,15,17-20], а про горизонтальні - в [16,17,21]. Об'ємні теплообмінники описано в роботах [11,17]. В роботі [16] показано, що 1,5 метровий протитоковий теплообмінник зі стічною трубою діаметром 50 мм,

горизонтального типу, може дати можливість відібрати від 4 до 15% теплоти «сірих» вод душової kabini. Об'ємний теплообмінник, встановлений для рекуперації теплоти душових кабін оздоровчого центру, розглядався в [17]. Встановлено, що ефективність такого теплообмінника може змінюватися в діапазоні 32,2...50,4 % в залежності від кількості відвідувачів.

В [11] для оцінки характеристик та показників рекуперації теплоти був реалізований прототип установки для рекуперації теплоти стічної води побутових споживачів. В експериментальних дослідженнях рекуперація теплоти використовувалась як допоміжне теплопостачання, в системі опалення за допомогою теплового насоса. Стічну воду збирали у спеціально побудований резервуар-теплообмінник, який являє собою тепловий накопичувач, спрямований на підвищення продуктивності теплового насоса. Було створено спеціальне програмне забезпечення для управління усіма гідравлічними контурами. Взимку спостерігалось підвищення продуктивності обладнання, за умови правильної реалізації системи управління, зовнішніми теплообмінниками повітря-вода та баком утилізатором теплоти стічної води. Якщо середня витрата стічних вод досить висока впродовж дня то тепловий насос може працювати навіть незалежно від зовнішніх погодних умов.

В [18] представлена модель розрахунку, що дозволяє оцінити фінансову ефективність будівництва системи рекуперації теплоти стічної води в односімейному будинку. Представлений метод оцінки інвестиційного ризику може бути використаний для прийняття рішень окремими користувачами, дизайнерами, архітекторами та іншими будівельниками. Дослідження фінансових показників проводилось для різних параметрів установки та різних конфігурацій системи рекуперації теплоти. З точки зору інвесторів, на думку авторів, найвигіднішим варіантом встановлення системи теплового відновлення є система, в яку попередньо підігріту воду подають як в водонагрівач, так і в змішувальний клапан для душу. В [18] зроблено висновок, що встановлення системи утилізації має бути особливо вигідними для застосування у басейнах, спортивних спорудах чи фітнес-клубах, де спостерігається висока ротація користувачів.

Робота вертикального утилізатора теплоти в поєднанні з системою підготовки гарячої води сонячною енергією і розрахунок ефективності такої схеми розглянуті в [19,20].

Стаття [15] зосереджена на дослідженні впливу утилізаторів теплоти стічної води при використанні електричних бойлерів у пікові часи електричного

навантаження. Моделювання виконувалось за допомогою TRNSYS (A Transient system simulation program.) зі стандартною моделлю бойлера для гарячої води та спеціальним утилізатором теплоти стічної води. Результати моделювання показали, що утилізатори теплоти стічної води мають вплив на піковий попит на електроенергію та скорочення на 119,4 Вт (зменшення на 10,4%) о 8:00 та на 184,0 Вт (зменшення на 21,5%) о 22:00. Щорічно, енергія, що необхідна для обігріву гарячої води становить 4501 і 5299 кВт-год із та без утилізатора теплоти відповідно. В [15] зроблено висновок про те, що душові часто використовуються в пікові години споживання електричної енергії. У разі, якщо більша частина води в місті нагрівається електричними бойлерами, а прагнення людей до комфорту підвищується з кожним роком, то витрати на введення в експлуатацію додаткової електричної потужності (необхідної для покриття цих навантажень) можна порівняти з виробництвом і установкою таких утилізаторів в кожному будинку. При цьому з екологічної точки зору другий сценарій більш сприятливий.

Особливо зазначимо, що наукові дослідження в цій області активно розвиваються вже впродовж 10 років, вони більш актуальні в Європі через більш високі тарифи на електричну та теплову енергію.

#### Висновки

- Світова теплоенергетична спільнота працює над створенням ефективних систем теплової рекуперації стічної води;
- Екологічна ситуація вимагає більш широкого використання систем рекуперації стічної води;
- Важливим питанням є збільшення обізнаності та освіти населення, оскільки такий підхід забезпечить підвищення ступеня впровадження систем утилізації теплоти стічних вод в житлових будинках.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *F. Schmid* Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers/ 9th International IEA Heat Pump Conference, 20 – 22 May 2008, Zürich, Switzerland
2. *S. Kordana, K. Pochwat, D. Słyś, M. Starzec* Opportunities and Threats of Implementing Drain Water Heat Recovery Units in Poland. Resources, 2019, 8, 88.
3. *Ch. Deiss* Energiequelle zum Heizen und Kühlen – Grösste Abwasser energie nutzungsanlage in der Schweiz, gwa (Gas Wasser Abwasser) journal N6/2007, pp. 413-420.
4. *Б.І. Басок* Аналіз технічних характеристик теплонасосної станції, що використовує низькопотенційну теплоту стічних вод Бортницької станції аерації для тепlopостачання житлових мікрорайонів «Осокорки» і

«Позняки» м. Києва / Б.І. Басок та інш.// Промислова теплотехніка. — 2011. — Т.33, № 6 — С. 58-63.

5. *Б.І. Басок*. Аналіз економічної доцільності будівництва теплонасосної станції, що використовує теплоту стічних вод Бортницької станції аерації для тепlopостачання житлових мікрорайонів «Осокорки» та «Позняки» м. Києва / Б.І. Басок та інш. // Промислова теплотехніка. — 2012. — Т.34, № 5. — С. 53-57.

6. *L. N. Alekseiko, V. V. Slesarenko, A. A. Yudakov*, Combination of wastewater treatment plants and heat pumps, Pacific Science Review, Volume 16, Issue 1, 2014, Pages 36-39, <https://doi.org/10.1016/j.pscr.2014.08.007>.

7. *F. Schmid* Wärmerückgewinnung aus Abwasser – Potenzialerhebung im Rahmen des GEP, gwa (Gas Wasser Abwasser) journal N6/2007, pp. 405-411.

8. *D. Stransky I. Kabelkova, V. Bares, G. Stastna, Z. Suchorab* Suitability of combined sewers for the installation of heat exchangers // Ecological Chemistry and Engineering, Volume 23, Issue 1, Pages 87–98. <https://doi.org/10.1515/eces-2016-0006>

9. *Б. Басок, М. Новіцька, Ю. Литвинюк*, Особливості розрахунку теплообмінного апарату для утилізації теплоти стічних вод. Промислова теплотехніка – 2016, Т.38, №6 – с.65-70. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/ihe.6.2016.09>

10. *Z. Zhuang, D. Sun* Design and calculation of the sewage heat exchanger based on SCILAB // 2009 IEEE International Workshop on Open-source Software for Scientific Computation.(OSSC), 2009, pp.148-152.

11. *L. Postriotti, G. Baldinelli, F. Bianchi, G. Buitoni, F. Di Maria, F. Asdrubali*. An experimental setup for the analysis of an energy recovery system from wastewater for heat pumps in civil buildings. Applied Thermal Engineering, 102 (2016) P.961–971. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.04.016>

12. *A. Bertrand, R. Aggoune, F. Maréchal*. In-building waste water heat recovery: An urban-scale method for the characterisation of water streams and the assessment of energy savings and costs// Applied Energy, 2017. Vol. 192. P.110-125. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.096>

13. *А. Обидный, Э. Малкин, А. Яценко*. Анализ существующих устройств и систем отбора низкопотенциальной теплоты сточных вод систем канализации // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym – 2015. – Vol. 1, N 15 – P. 143-151.

14. *A. Bertrand, A. Mastrucci, N. Schueler, R. Aggoune, F. Marechal*. Characterisation of domestic hot water end-uses for integrated urban thermal energy assessment and optimization // Applied Energy, 2017. Vol. 186, Part 2. P. 152-166. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.107>

15. *P. Eslami-nejad, M. Bernier*. Impact of grey water heat recovery on the electrical demand of domestic hot water heaters // Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland, July 27-30, 2009. P. 681-687.
16. *L.T. Wong, K.W. Mui, Y. Guan*. Shower water heat recovery in high-rise residential buildings of Hong Kong // *Applied Energy*, 2010. Vol. 87. P. 703–709. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.08.008>
17. *J. Vaičiūnas, V. Geležūnas, R. Valančius, A. Jurelionis, T. Ždankus*. Analysis of Drain Water Heat Exchangers System in Wellness Center // *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 2016. Vol. 4. P.15-23. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.sace.17.4.16294>
18. *Daniel Sty's, Sabina Kordana*. Financial analysis of the implementation of a Drain Water Heat Recovery unit in residential housing // *Energy and Buildings*, 2014. Vol. 71. P. 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.088>
19. *D. Picard, V. Delisle, M. Bernier, M. Kummert*. On the combined effect of wastewater heat recovery and solar domestic hot water heating // Canadian Solar Buildings Conference, Montreal, August 20-24, 2004.
20. *Kamyar Tanha, Alan S. Fung, Rakesh Kumar*. Performance of two domestic solar water heaters with drain water heat recovery units: Simulation and experimental investigation // *Applied Thermal Engineering*, 2015. Vol. 90. P. 444-459. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.07.038>
21. *М. П. Новицкая*. Теплообменный аппарат для утилизации теплоты сточных вод домохозяйства // *Промислова теплотехніка* – 2018. – Т.40, №1 – с. 56-60. <https://doi.org/10.31472/ihe.1.2018.08>

## TECHNOLOGIES, SYSTEMS, AND EQUIPMENT FOR WASTEWATER HEAT UTILIZATION (REVIEW)

**B.I. Basok, M.P. Novitska, S.M. Goncharuk**

*Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Kapnist str., Kyiv 03680, Ukraine*

<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2020.4>

The paper analyzes research, technologies, and equipment related to wastewater heat utilization systems. The main factors influencing the development of the industry and the implementation of such systems are given. Such factors include: social, political, economic, technological, legal and environmental. The classification of technologies and equipment for wastewater heat utilization according to the place of heat extraction is given. Namely, low potential wastewater heat can be collected at the treatment plants, in sewer collectors leading to treatment plants and directly in houses. The paper describes the available research in the scientific literature on these three categories. The global scientific community is working to create efficient wastewater heat recovery systems. The environmental situation requires greater use of wastewater recovery systems. An important issue is to increase awareness and education of the population, as this approach will increase the degree of implementation of wastewater heat utilization systems in residential buildings.

References 21, tables 1, figures 1.

**Key words:** secondary energy resources, prospects of use, wastewater, utilization, heat pumps.

1. *F. Schmid* Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers/ 9th International IEA Heat Pump Conference, 20 – 22 May 2008, Zürich, Switzerland

2. *S.Kordana, K. Pochwat, D. Słyś, M. Starzec* Opportunities and Threats of Implementing Drain Water Heat Recovery Units in Poland. Resources, 2019, 8, 88.

3. *Deiss Ch.* Energiequelle zum Heizen und Kühlen – Grösste Abwasser energie nutzungsanlage in der Schweiz, gwa (Gas Wasser Abwasser) journal N6, 2007, pp. 413-420.

4. *Basok B.I.* Analiz tekhnichnikh kharakterystyk teplonasosnoi stantsii, shcho vykoryctovuie nyzkopotentsiinu teplotu stichnykh vod Bortnytskoi stantsii aeratsii dlia teplopostachannia zhytlovykh mikroraioniv “Osokorky” I “Pozdniaky” m. Kyeva. [Technical parameters analysis of a heat-pump unit based on low-potential sewage waters utilization at Bortnychi aeration plant for heat supply in Osokorky and Poznyaky regions of Kyiv] Basok B.I. at all. Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial heat engineering], 2011, V. 33, N6, P.58–63. (Ukr.)

5. *Basok B.I.* Analiz ekonomichnoi dotsilnosti budivnytstva teplonasosnoi stantsii, shcho vykoryctovuie nyzkopotentsiinu teplotu stichnykh vod Bortnytskoi stantsii aeratsii dlia teplopostachannia zhytlovykh mikroraioniv “Osokorky” I “Pozdniaky” m. Kyeva. [Economic parameters analysis of a heat-pump unit based on low-potential sewage waters utilization at Bortnychi aeration plant for heat supply in Osokorky and Poznyaky regions of Kyiv] Basok B.I. at all. Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial heat engineering]. 2012, V. 34, N5, P.53–57. (Ukr.)

6. *L.N. Alekseiko, V. V. Slesarenko, A. A. Yudakov,* Combination of wastewater treatment plants and heat pumps, Pacific Science Review, Volume 16, Issue 1, 2014, Pages 36-39, <https://doi.org/10.1016/j.pscr.2014.08.007>.

7. *F. Schmid* Wärmerückgewinnung aus Abwasser – Potenzialerhebung im Rahmen des GEP, gwa (Gas Wasser Abwasser) journal N6/2007, pp. 405-411.

8. *D. Stransky I. Kabelkova, V. Bares, G. Stastna, Z. Suchorab* Suitability of combined sewers for the installation of heat exchangers // Ecological Chemistry and Engineering, Volume 23, Issue 1, Pages 87–98. <https://doi.org/10.1515/eces-2016-0006>

9. *B. Basok, M. Novitska, Y. Litvinuk* Osoblyvosti rozrakhunku teploobminnoho aparatu dlia utylizatsii teploty stichnykh vod [Characteristic of heat exchanger calculation for wastewater heat recovery.] Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial heat engineering] 2016, V.38, N6, P. 65-70. (Rus) <https://doi.org/10.31472/ihe.6.2016.09>

10. *Z. Zhuang, D. Sun* Design and calculation of the sewage heat exchanger based on SCILAB // 2009 IEEE International Workshop on Open-source Software for Scientific Computation, (OSSC), 2009, pp.148–152.

11. *L. Postriotti, G. Baldinelli, F. Bianchi, G. Buitoni, F. Di Maria, F. Asdrubali.* An experimental setup for the analysis of an energy recovery system from wastewater for heat pumps in civil buildings. Applied Thermal Engineering, 102 (2016) P.961–971. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.04.016>

12. *A. Bertrand, R. Aggoune, F. Maréchal.* In-building waste water heat recovery: An urban-scale method for the characterisation of water streams and the assessment of energy savings and costs// Applied Energy, 2017, Vol. 192, P.110-125. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.096>

13. *A. Obidnyk, E. Malkin, A. Yatsenko.* Analiz sushchestvuiushchih ustroystv i system otbora nyzkopotentsialnoi teploty stochnih vod system kanalizatsii. [Analysis of existing devices and systems for utilization of low-grade heat waste sewage water] // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym [Construction of optimized energy potential] 2015, Vol.1, N 15, P. 143-151. (Rus)

14. *A. Bertrand, A. Mastrucci, N. Schueler, R. Aggoune, F. Marechal*. Characterisation of domestic hot water end-uses for integrated urban thermal energy assessment and optimization // *Applied Energy*, 2017. Vol. 186, Part 2. P. 152-166. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.107>
15. *P. Eslami-nejad, M. Bernier*. Impact of grey water heat recovery on the electrical demand of domestic hot water heaters // Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland, July 27-30, 2009. P. 681-687.
16. *L.T. Wong, K.W. Mui, Y. Guan*. Shower water heat recovery in high-rise residential buildings of Hong Kong // *Applied Energy*, 2010, Vol. 87, P. 703–709. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.08.008>
17. *J. Vaičiūnas, V. Geležūnas, R. Valančius, A. Jurelionis, T. Ždankus*. Analysis of Drain Water Heat Exchangers System in Wellness Center // *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 2016, Vol. 4, P.15-23. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.sace.17.4.16294>
18. *D. Sly's, S. Kordana*. Financial analysis of the implementation of a Drain Water Heat Recovery unit in residential housing // *Energy and Buildings*, 2014, Vol. 71, P. 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.088>
19. *D. Picard, V. Delisle, M. Bernier, M. Kummert*. On the combined effect of wastewater heat recovery and solar domestic hot water heating // Canadian Solar Buildings Conference, Montreal, August 20-24, 2004.
20. *Kamyar Tanha, Alan S. Fung, Rakesh Kumar*. Performance of two domestic solar water heaters with drain water heat recovery units: Simulation and experimental investigation // *Applied Thermal Engineering*, 2015, Vol. 90, P. 444-459. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.07.038>
21. *M. P. Novitska*, Teploobmennyi apparat dlia utilizatsii teploty stochnik vod domokhoziaistva [Household drain water heat recovery unit] *Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial heat engineering]*, 2018, V40, N1, P. 56-60. (Rus) <https://doi.org/10.31472/ihe.1.2018.08>

Отримано 10.06.2020

Received 10.06.2020