

В. А. ВОЛОЩУК, кандидат технічних наук

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

О. О. ГРИЦИНА, кандидат технічних наук

Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне

## СТІЧНІ ВОДИ ЯК ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ У СИСТЕМАХ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

*В роботі, на основі ексергетичного підходу, показана доцільність удосконалення методологічної бази з обґрунтування рішень при утилізації енергії стічних вод в системах теплозабезпечення населених пунктів. Це узгоджується із існуючою концепцією створення систем теплозабезпечення нового, 4-го покоління.*

**Ключові слова:** ексергетичний підхід, системи теплозабезпечення, стічні води.

*В работе, на основе эксергетического подхода, показана целесообразность усовершенствования методологической базы для обоснования решений по утилизации энергии сточных вод в системах теплообеспечения населенных пунктов. Это согласуется с существующей концепцией создания систем теплоснабжения нового, 4-го поколения.*

**Ключевые слова:** эксергетический подход, системы теплообеспечения, сточные воды.

*Based on exergic approach the paper provides the necessity of improving methodological framework to assist decision making processes when using wastewater as a heat source in heating systems. This framework complements the existing concept of development of the next 4<sup>th</sup> generation district heating.*

**Key words:** exergy-based approach, heating systems, wastewater.

Серед важливих проблем сьогодення можна виділити проблеми зростання енергоспоживання людства, вичерпання природних, в тому числі і енергетичних, ресурсів, нерівномірний розподіл цих ресурсів, зростання рівня та наслідків негативного антропогенного тиску людини на довкілля.

Необхідно відмітити, що міста є основними споживачами енергоресурсів для життєзабезпечення людини. На сьогоднішній день міське населення за кількістю вже перевищило сільське. Прогнозується, що в перспективі ця різниця буде зростати [1].

Вже сьогодні місто є досить складною системою. Міська інфраструктура не може розглядатися як проста сукупність окремих систем чи елементів, жителі не є пасивними учасниками. Це спричинило появу такого поняття як «розумне» місто. В даному випадку передбачається, зокрема, використання інформаційних та комунікаційних технологій для забезпечення більш відкритих, різносторонніх та збалансованих умов проживання в містах [2]. Вважається, що такий підхід дозволить суттєво підвищити рівень ефективності використання енергетичних, водних та інших ресурсів міста.

Системи теплозабезпечення, водопостачання та водовідведення також є важливим елементами життєзабезпечення населених пунктів, а особливо великих міст. Аналіз літературних джерел показує, що у відповідності до проблем сьогодення існує потреба удосконалення або навіть розробки нової методологічної бази з обґрунтування і розробки нових рішень при створенні, зокрема, систем утилізації енергії стічних вод для тепло забезпечення населених пунктів [3-7].

Мета роботи: аналіз існуючих тенденцій методологічних підходів та техніко-технологічних схем у сфері теплозабезпечення населених пунктів та визначення можливих рішень із використання енергії стічних вод у цих системах.

Отже, на сьогоднішній день методологічною основою енергетичних систем, включаючи теплозабезпечення та водовідведення, є техніко-економічне обґрунтування, яке у свою чергу базується на суто енергетичному підході та принципів класичної економіки. Енергетичний підхід в своїй основі приймає до уваги тільки перший закон термодинаміки. Класична економіка визначає працю людини як основне джерело багатства. Природні багатства все ще не мають належної оцінки в господарській діяльності людини.

У зв'язку з цим в енергетиці з'явився новий, ексергетичний підхід, який дозволяє реалізувати процеси енергоспоживання під кутом зору економіки природних ресурсів. Ексергетичний підхід є новим витком в теорії створення енергетичних систем. Можливості суто енергетичного підходу до удосконалення таких систем майже вичерпані. На відміну від енергетичного аналізу ексергетичний метод оцінки дозволяє визначити місцезнаходження, значення та джерела термодинамічних втрат в системі [8].

Існуючі технології теплозабезпечення будівель базуються на використанні джерел енергій з високим значенням ексергії (якості) – спалювання різних видів палива. Разом з тим, безпосередньо у будівлях для створення теплового комфорту потрібна енергія з відносно низькою ексергією (якістю). В результаті, значна частина високоякісної енергії, яку не можна замінити в інших технологічних процесах (хімічна промисловість, металургія, тощо), втрачається (рис. 1).

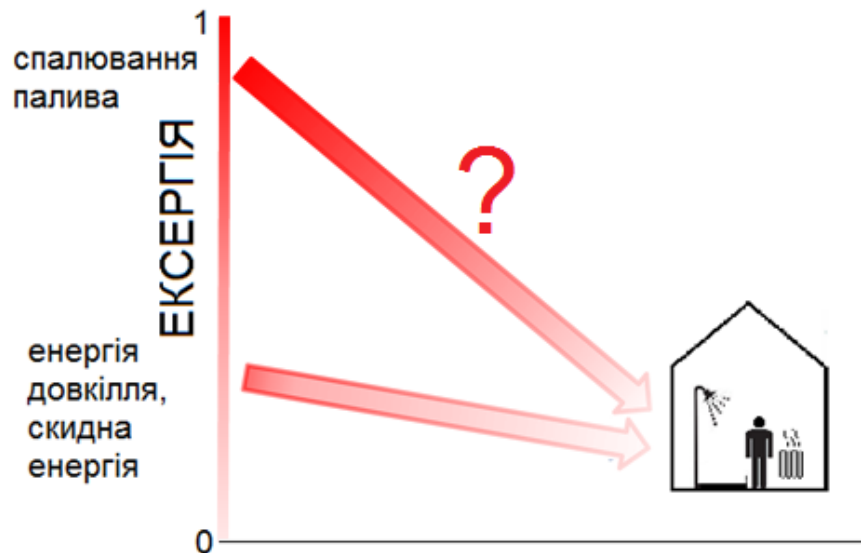


Рис. 1. Рівень втрат ексергії від різних джерел енергії при теплозабезпечення будівлі

Використання енергії стічних вод в якості джерела енергії є одним із можливих рішенням створення низькоексергетичних систем теплозабезпечення населених пунктів [9].

На рис. 2, для прикладу, показана зміна на різних стадіях перетворення енергії системи теплозабезпечення житлового району осереднених у багаторічному перерізі сезонних значень ексергії відповідно на базі стандартної котельні та теплонасосної установки, яка утилізує енергію стічних вод з температурою 15°C. Із наведених графіків видно, що при використанні стандартної котельні найбільші втрати ексергії мають місце на стадії первинного перетворення палива та генерації теплоти. Процес перетворення хімічно зв'язаної енергії палива у енергію води системи тепlopостачання є один із найбільш термодинамічно недосконалих.

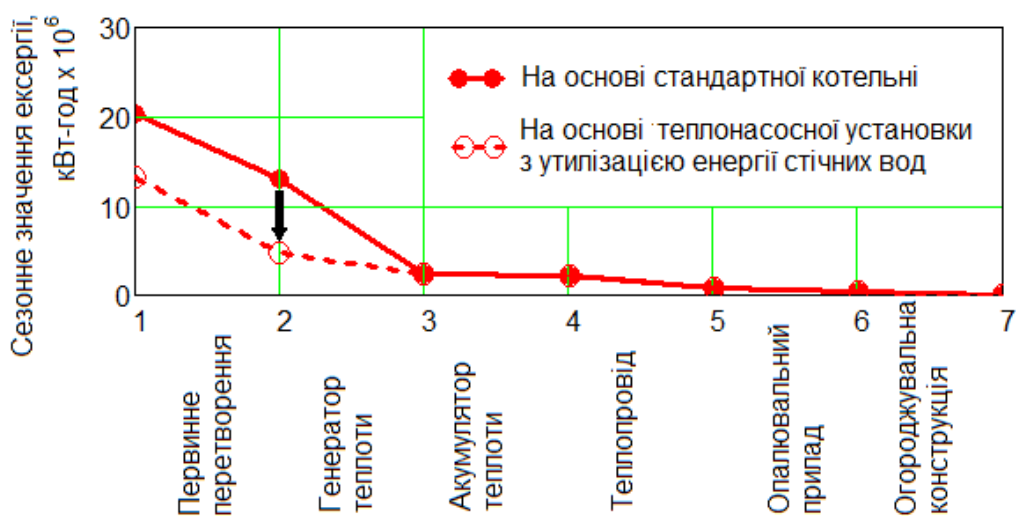


Рис. 2. Осереднені у багаторічному перерізі сезонні значення ексергії для системи теплозабезпечення житлового району

Згідно рис. 2, при застосуванні технології утилізації енергії стічних вод за допомогою теплонасосної установки втрати ексергії на стадії генерації теплоти зменшилися у три рази. На стадії первинного перетворення палива втрати ексергії в обох випадках майже однакові. Це обумовлено тим, що у випадку використання теплонасосної системи в процес первинного перетворення енергії включено виробництво електричної енергії на конденсаційній ТЕС. В результаті, в системі із використанням енергії стічних вод має місце зниження споживання ексергії первинного палива на 35%.

Традиційний ексергетичний аналіз, поглиблений ексергетичний аналіз, ексергоекономічний (термоекономічний), ексергоприродничий та інші методи поєднання ексергії, економіки й екології дозволяють виконати набагато глибший та детальніший аналіз й обґрунтування техніко-технологічних рішень при створенні та експлуатації систем теплозабезпечення населених пунктів [9-11].

Перші спроби визначити вартість продукту системи на основі ексергетичного підходу були зроблені у 1920-30-х роках минулого століття. Подальший розвиток цієї ідеї призвів до появи у 1960-х роках такого напрямку як термоекономіка, а потім і ексергоекономіки. Останній напрям передбачає новий, особливий підхід до поєднання ексергетичного та економічного аналізу і є сьогодні одним з найбільш поширеним [9, 10].

Технологічні та управлінські рішення у сфері теплозабезпечення населених пунктів також зазнали суттєвих змін за остання десятиліття. В літературі вже розглядаються рішення із створення систем теплозабезпечення нового, 4-го, покоління.

Згідно [4] такі системи повинні забезпечувати:

- можливість подачі низькотемпературного теплоносія для опалення та гарячого водопостачання існуючих будинків, після впровадження в них енергоефективних рішень, а також будинків із низьким споживанням енергії за рахунок синергетичного ефекту;
- можливість розподіляти енергію по мережах з низькими втратами;
- можливість використання скидної низькотемпературної енергії, а також енергії відновлювальних джерел в тому числі сонячної й геотермальної енергії;
- можливість бути складовою «розумної» енергетичної системи, що включає в себе «розумні» електричні, теплові, газові та водопровідні мережі;
- можливість реалізації рішень з планування, забезпечення мотивації при реалізації на засадах сталого розвитку стратегічних рішень до створення майбутніх енергосистем.

В роботі [7] наведені характерні особливості існуючих централізованих систем теплозабезпечення та майбутніх на прикладі Фінляндії. Згідно [7] ключовими властивостями існуючих систем є: використання викопних видів палива; централізоване виробництво енергії; монополія муніципальних компаній-виробників енергії; використання традиційних бізнес моделей; висока температура подавальної води; приєднання до мережі будівель з різною енергетичною ефективністю; використання традиційних технологій. На

відміну від існуючих, системи централізованого теплозабезпечення майбутнього будуть характеризуватися: зростанням частки відновлювальних джерел енергії; застосуванням нових бізнес моделей; комбінованим виробництвом електричної енергії, та енергії для тепло- й холодозабезпечення; зростанням частки розподіленого виробництва енергії; можливістю підключення різних виробників до системи; появою просьюмерів (*prosumers*); відносно низькою температурою подавальної води, зростанням частки підключених до системи будинків з нульовим споживанням енергії (*zero-energy buildings*); використанням технологій індивідуального управління (*supportive technologies*).

Отже, в системах централізованого тепlopостачання нового покоління, у якій передбачений температурний графік 40/20°C [4] з'являється більше можливостей утилізації низькотемпературної скидної енергії стічних вод житлового сектору, комерційний та промислових об'єктів.

Майбутні системи централізованого тепlopостачання будуть відігравати особливу роль у функціонуванні «розумних» енергетичних систем, коли і електричні мережі, і газові мережі, і мережі водопостачання й водовідведення координуються для забезпечення синергетичного ефекту [4].

За допомогою теплонасосних систем можна підняти температурний рівень стічної води до значень, можливих для використання як в системах створення теплового комфорту в приміщеннях, підготовки гарячої води, так і в певних промислових процесах.

Однією з класифікацій схем використання енергії стічних вод є їх поділ в залежності від розміщення місця утилізації енергії: безпосередньо в індивідуальному будинку, у колекторах системи каналізації населених пунктів та на очисних станціях [12, 13] (рис. 3).

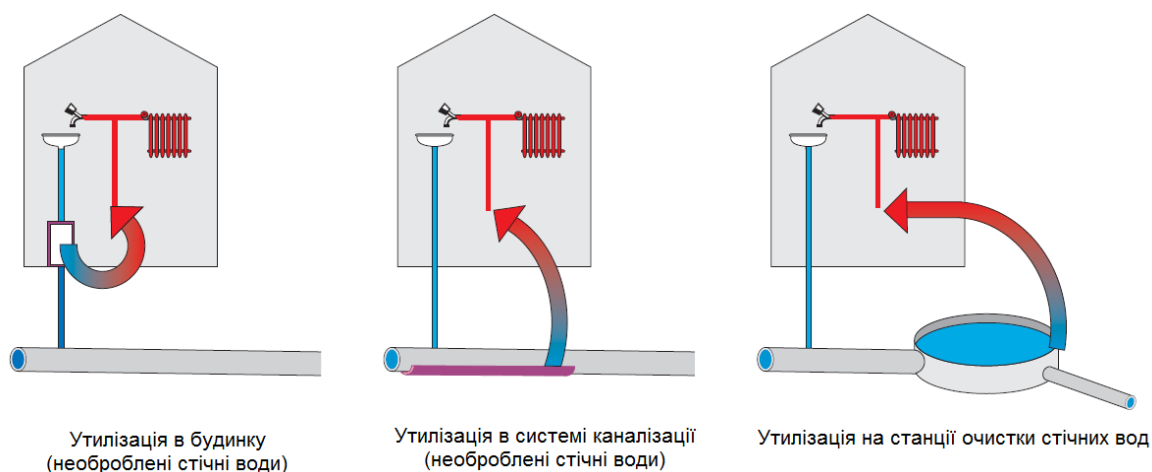


Рис. 3. Типи систем утилізації енергії стічних вод в залежності від місця їх розташування [13]

У першому випадку температура стічних вод є найвищою. Хоча в даній схемі мають місце найбільша нерівномірність витрати. У схемах першого типу найбільш поширеною технологією є попередній нагрів води гарячого

водопостачання (ГВП) при допомозі теплообмінника [12, 13]. Хоча є рішення, де передбачений нагрів до необхідної температури води в системі ГВП за допомогою утилізації енергії стічної води теплонасосною установкою [5]. Але, як це показано в роботі [5], це можливо реалізувати в будинках нового типу (з нульовим споживанням енергії – *zero-energy buildings*). Разом з тим, як показали результати наших досліджень, за рахунок апробованих на практиці технологій з підвищення енергоефективності існуючих будинків можна за допомогою утилізації енергії стічних вод забезпечити до 40% щорічних потреб будинку на його теплозабезпечення. Згідно попереднього аналізу, проведеного нами, основною перевагою використання теплонасосною установкою енергії стічних вод безпосередньо у будинку є їх відносно висока температура. А це можна використати, у першу чергу, для підвищення ефективності та надійності роботи теплового насоса.

При розміщенні системи утилізації енергії стічних вод у колекторах системи каналізації населених пунктів витрата має більш рівномірний характер. Хоча температура джерела є нижчою і її подальше зниження лімітується процесами очистки стічних вод на каналізаційних очисних спорудах [12, 14].

Якщо утилізація енергії стічних вод здійснюється на очисних станціях, то, як і у попередньому випадку, тут необхідно враховувати підтримання відповідної температури цих вод для забезпечення їх ефективною очистки. Крім того, як правило каналізаційні очисні споруди розміщуються на значній відстані від житлових районів. Хоча витрати енергоносія в даному випадку є найбільш рівномірними.

**Перспективи подальших досліджень.** В подальшому передбачається розробка та застосування методології ексергетичного аналізу до створення та реалізації техніко-технологічних рішень в системах відведення, утилізації енергії стічних вод та системах теплозабезпечення населених пунктів як єдиного комплексу життєзабезпечення.

**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).

#### **Висновки:**

1. В роботі показано, що існуючі тенденції методологічних підходів, що базуються на понятті ексергії, дозволяють виконати набагато глибший та детальніший аналіз й обґрунтування техніко-технологічних рішень при створенні та експлуатації нового типу систем теплозабезпечення населених пунктів в тому числі на основі утилізації енергії стічних вод.

2. Концепція створення систем централізованого постачання 4-го покоління включає технології із використання енергії стічних вод та розгляд систем водовідведення і теплопостачання як складових єдиного комплексу життєзабезпечення населених пунктів.

## Список літератури

1. *United Nations*, World Urbanization Prospects: The 2014 Revisions.
2. *Rosati U.* What is a smart city project? An urban model or a corporate business plan? / U. Rosati, S. Conti // The 2nd International Symposium " New Metropolitan Perspectives" – Strategic planning, spatial planning, economic programs and decision support tools, through the implementation of Horizon/Europe2020 (ISTH-2020). Program and Proceedings, Reggio Calabria, Italy, May, 18-20, 2016. Reggio Calabria, 2016.
3. *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.
4. *Lund H.* 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems/ H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J. E. Thorsen, F. Hvelplund, B. V. Mathiesen // Energy, 2014. Vol. 68. P. 1–11.
5. *Meggers F.* The potential of wastewater heat and exergy: Decentralized high-temperature recovery with a heat pump/ F. Meggers, H. Leibundgut // Energy and Buildings, 2011. Vol. 43. P. 897–886.
6. *Schmidt D.* Low temperature district heating for future energy systems / D. Schmidt, A. Kallert, M. Blesl, S. Svendsen, N. Nord, K. Sipilä // The 14th International Symposium on District Heating and Cooling. Program and Proceedings, Stockholm, Sweden, September, 7-9, 2014. Stockholm, 2014.
7. *Paiho S.* Towards next generation district heating in Finland / S. Paiho, F. Reda // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 65. P. 915–924.
8. *Тсатсаронис Дж.* Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопре-образующей системы. Одесса: Негоциант, 2002. 152 с.
9. *Torio H., Schmidt, D.* (2011): Exergy Assessment Guidebook for the Built Environment. Summary report of Annex 49: Low Exergy Systems for High-Performance Building and Communities. Edited by Programme on Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS) of the International Energy Agency. Stuttgart, Germany.
10. *Sciubba E.* A brief Commented History of Exergy From the Beginnings to 2004 / E. Sciubba, G. Wall // Int. J. Exergy, 2007. Vol. 10, No. 1. P. 1–26.
11. *Tsatsaronis G.* Comments on the Paper "A Brief Commented History of Exergy from the Beginnings to 2004" E. Sciubba and G. Wall Int. J. of Thermodynamics, 10 (2007), pp 1-26 and Authors' Response / G. Tsatsaronis // Int. J. Exergy, 2007. Vol. 10, No. 4. P. 187–192.
12. *Meyer L.* Exergoenvironmental analysis for evaluation of the environmental impact of energy conversion systems / L. Meyer, G. Tsatsaronis, J. Buchgeister, L. Schebek // Energy, 2009. No.34. P. 75–89.
13. *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.

14. 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.

15. Кізеєв М.Д. До питання використання теплових насосних установок на каналізаційних очисних спорудах // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць. 2009. Вип. 3(47), Частина 2. С. 192–199.

Надійшло до редакції 22.11.2016

УДК 620.92, 628.3

Н.Б. ГОЛУБ, доктор технічних наук  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»  
О.А. КОЗЛОВЕЦЬ, інженер-дослідник  
ТОВ «Енвітек»  
М.В. ШИНКАРЧУК, аспірант  
М.В. ПОТАПОВА, аспірант  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

### КОМПЛЕКСНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ПТАХОФАБРИК ТА ФІЛЬТРАТУ ПІСЛЯ ЇХ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ

*Наведено технологічне рішення очищення стічних вод птахофабрик або тваринних комплексів від азотовмісних сполук та ХСК. Обґрунтовано, що раціональним є попереднє анаеробне зброджування стічних вод з подальшим очищенням частини фільтрату в аеробному процесі для проведення стадії нітрифікації. Раціональне співвідношення аеробного та анаеробного потоків на стадії денітрифікації складає 2:1. Очищення стічної води від сполук нітрогену досягає  $77\pm 2\%$  при вихідній концентрації  $289 \text{ мг/дм}^3$ .*

**Ключові слова:** стічні води, азотовмісні сполуки, анаеробне зброджування, нітрифікація, денітрифікація.

*Приведено технологическое решение очистки сточных вод птицефабрик или животноводческих комплексов от азотсодержащих соединений и ХПК. Обосновано, что рациональным является предварительное анаэробное сбраживание сточных вод с последующей очисткой части фильтрата в аэробной процессе, для проведения стадии нитрификации. Рациональное соотношение аэробного и анаэробного потоков на стадии денитрификации составляет 2:1. Очистка сточных*