

# АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Проведений аналіз показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі водогрійної котельні.*

**Ключові слова:** теплонасосна установка, техніко-економічні показники, теплова схема.

## *Abstract*

*An analysis of the energy and environmental efficiency indicators of options for the use of heat pump installations in the thermal scheme of a water heating boiler house was carried out.*

**Key words:** heat pump installation, technical and economic indicators, thermal scheme.

## Вступ

У глобальному контексті зростаючі витрати на традиційні джерела енергії та загострення проблем екології вимагають пошуку нових, ефективних рішень. Використання теплових насосів у системах теплопостачання являє собою інноваційний підхід, який може забезпечити значущий внесок у трансформацію сфери енергозабезпечення.

Застосування теплових насосів у котельнях відкриває можливість зниження витрат на енергоресурси та сприяє інтеграції відновлюваної енергії в енергетичні системи. Це стимулює раціональне використання теплових резервів і є важливим кроком у вирішенні проблем сталого розвитку та відповіді на екологічні стандарти [1 – 16].

## Результати дослідження

**Метою дослідження** є аналіз показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок (ТНУ) в тепловій схемі водогрійної котельні. Виконаний аналіз низки показників енергетичної та екологічної ефективності теплової схеми водогрійної котельні з ТНУ, використано методологічні основи та результати досліджень з [1 – 16].

**Математичне програмне забезпечення розрахунків.** Моделювання здійснювалось у програмі HP FAT Calculator Programme-2023 [17] Датського Технологічного Інституту. Використана програма для моделювання та розрахунків HP FAT (Heat Pump First Assessment Tool) є безкоштовною програмою, яка базується на основі комерційного пакету Engineering Equation Solver (EES) і відповідному математичному описі. Engineering Equation Solver є комерційним пакетом програмного забезпечення, що забезпечує одночасне розв'язування систем лінійних та нелінійних рівнянь. В ньому закладена значна кількість спеціалізованих функцій та відповідних рівнянь з термодинаміки та теплопередачі. EES містить значення термодинамічних властивостей, виконує ітераційне розв'язання, спрощуючи задачу визначення термодинамічних властивостей з використанням вбудованих функцій. Пакет EES має параметричні таблиці, що забезпечує порівняння декількох варіантів одночасно. EES забезпечує оптимізацію, що мінімізують або максимізують вибрану змінну. Програму розроблено компанією F-Chart Software, EES включено як прикладене програмне забезпечення для ряду студентських підручників з термодинаміки, теплопередачі та механіки рідини від McGraw-Hill [18]. HP FAT призначений для оцінки ефективності застосування теплового насоса, дозволяє виконати оцінку потужностей та визначити прості фінансові показники.

На рис. 1 – 4 показані результати моделювання різних режимів роботи теплонасосних установок для параметрів у відповідності з показниками теплової схеми водогрійної котельні. Проведено визначення енергетичних та економічних показників.

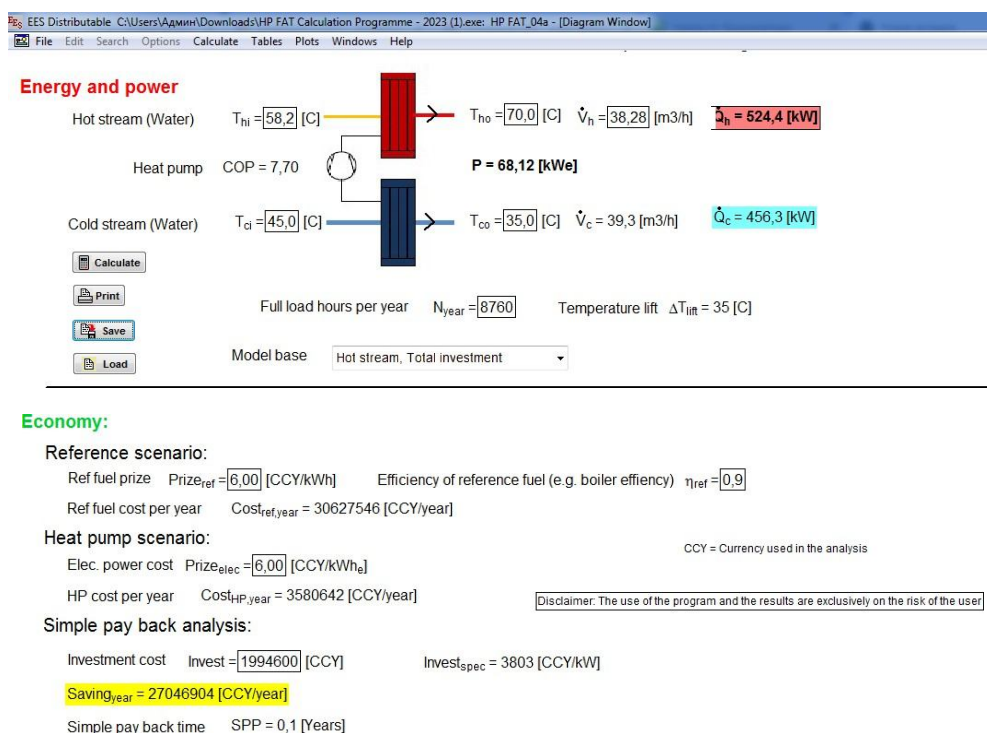


Рис. 1 – Результати моделювання першого режиму роботи теплонасосних установок

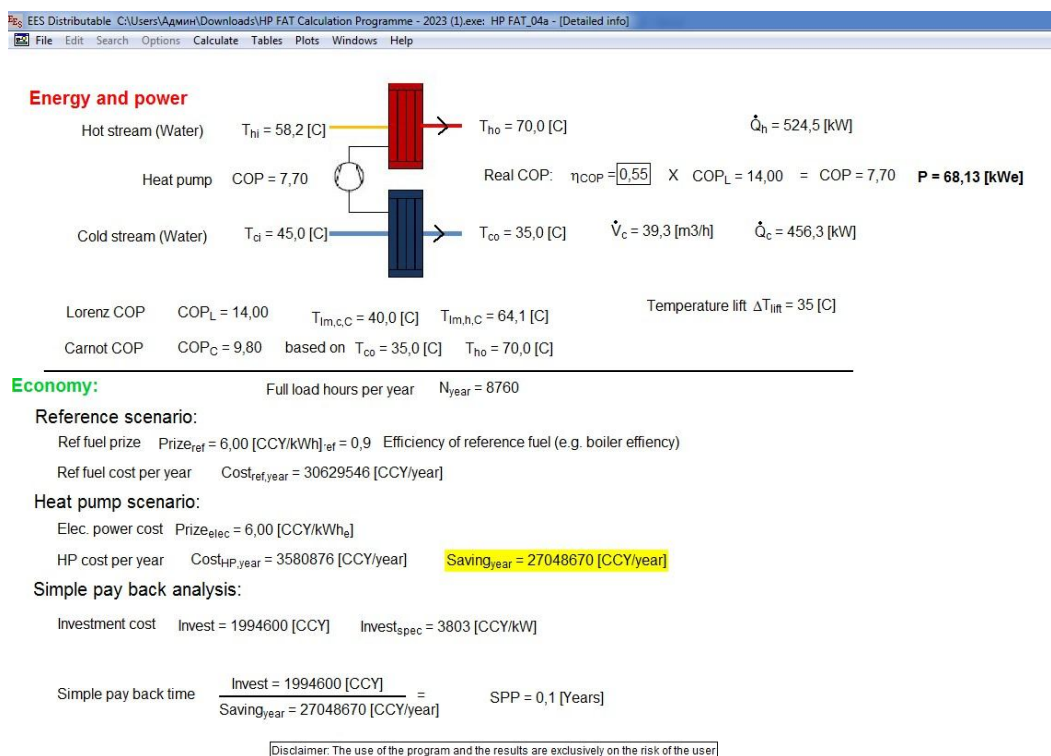
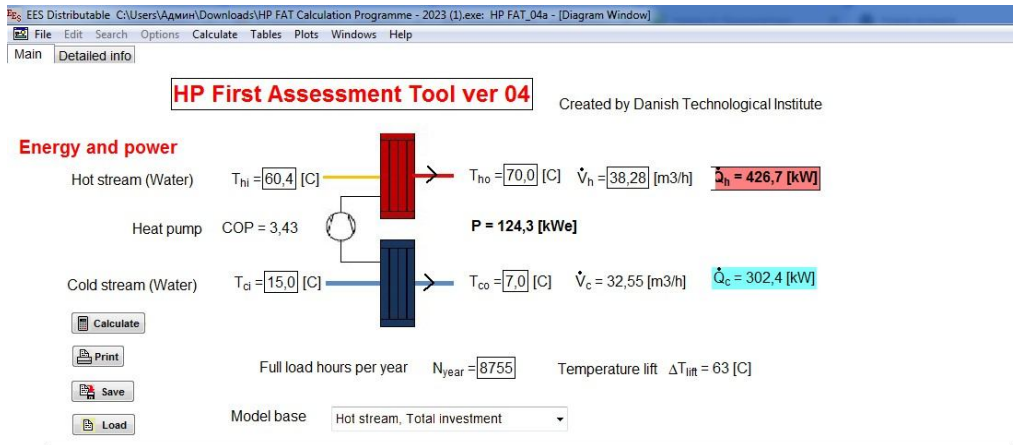


Рис. 2 – Результати моделювання другого режиму роботи теплонасосних установок



### Economy:

#### Reference scenario:

Ref fuel prize  $Prize_{ref} = 6,00$  [CCY/kWh] Efficiency of reference fuel (e.g. boiler efficiency)  $\eta_{ref} = 0,9$   
 Ref fuel cost per year  $Cost_{ref,year} = 24903103$  [CCY/year]

#### Heat pump scenario:

Elec. power cost  $Prize_{elec} = 6,00$  [CCY/kWh<sub>e</sub>] CCY = Currency used in the analysis  
 HP cost per year  $Cost_{HP,year} = 6527758$  [CCY/year]

Disclaimer: The use of the program and the results are exclusively on the risk of the user

#### Simple pay back analysis:

Investment cost  $Invest = 1355880$  [CCY]  $Invest_{spec} = 3178$  [CCY/kW]  
 $Saving_{year} = 18375345$  [CCY/year]  
 Simple pay back time SPP = 0,1 [Years]

Рис. 3 – Результати моделювання третього режиму роботи теплонасосних установок

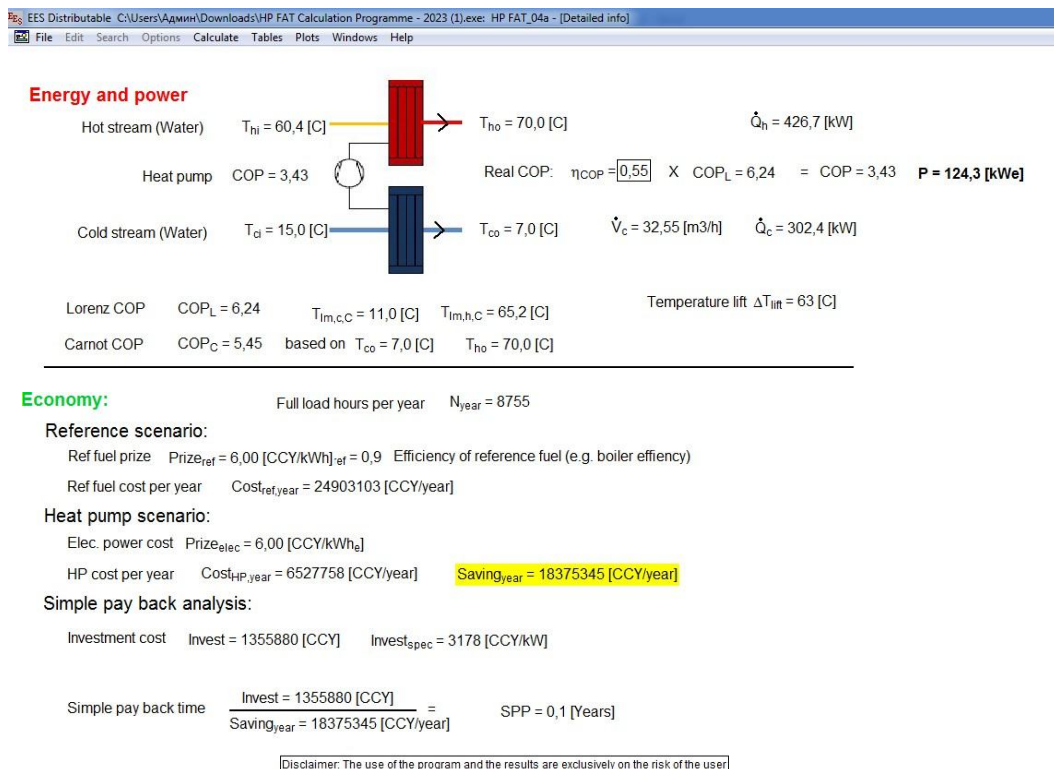


Рис. 4 – Результати моделювання четвертого режиму роботи теплонасосних установок

Використано програмний продукт компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу [19]. В оцінці життєвого циклу вплив продукції на навколишнє середовище визначається кількісно від видобутку ресурсів до виробництва, використання та обробки наприкінці життєвого циклу. Використано програми-калькулятори [20 – 21], що допоможуть кількісно оцінити вплив на навколишнє середовище.

**Результати математичного моделювання та їх аналіз.**

Моделювання здійснювалось для теплових насосів з використанням теплоти повітря, ґрунту та ґрунтових вод, а також стічних вод та вторинних енергоресурсів, для граничних значень локальних та загальних коефіцієнтів ефективності в діапазоні 2..4.

Для прикладу показані екологічні показники теплонасосних установок на теплоті вторинних енергоресурсів, що визначені в результаті моделювання з використанням програмних продуктів, представлені на рис. 5 – 7.

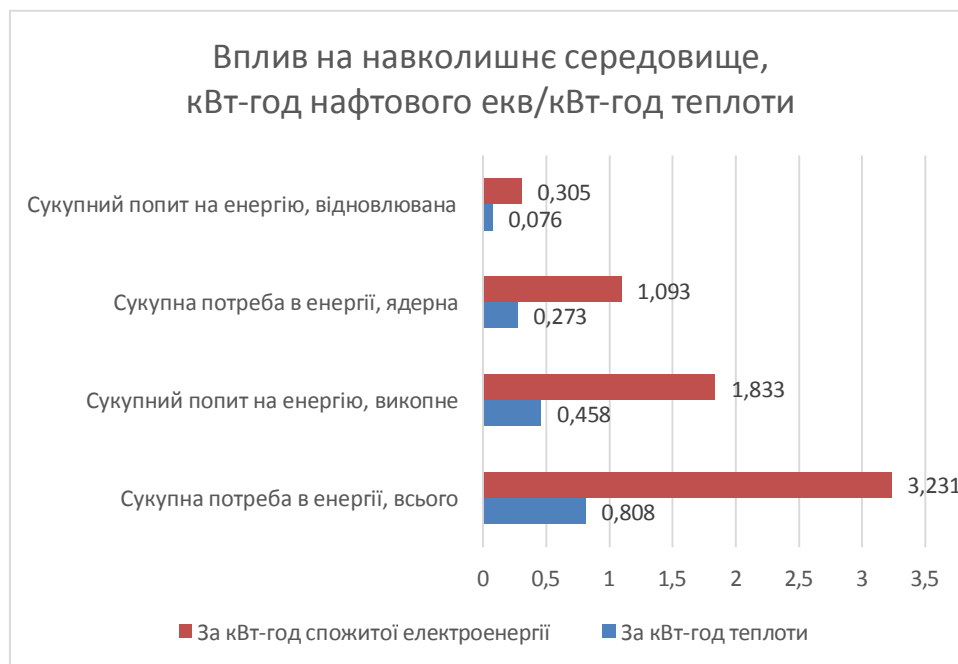


Рис. 5 – Показники роботи теплового насоса «вторинні енергоресурси-вода» для значення загального коефіцієнта ефективності 4

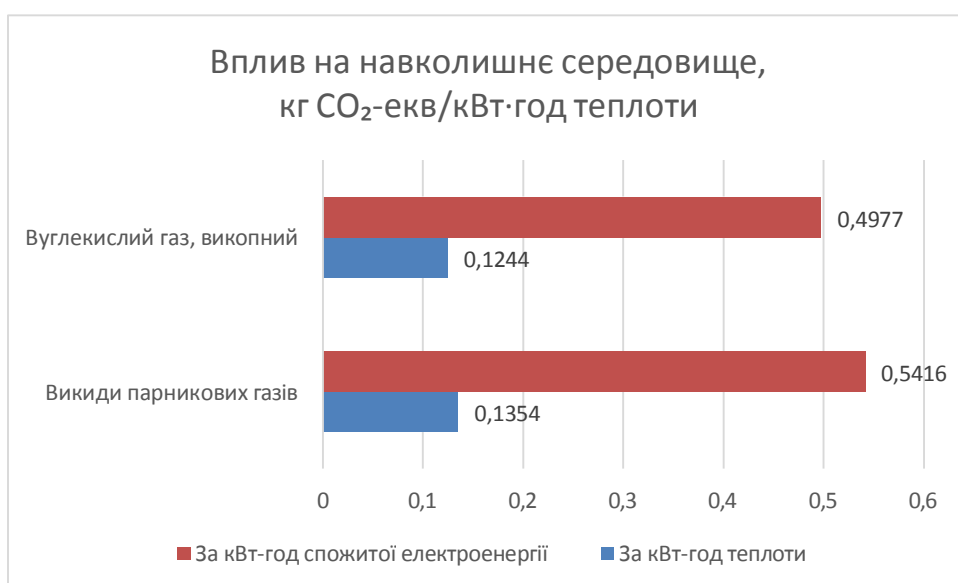


Рис. 6 – Показники роботи теплового насоса «вторинні енергоресурси-вода» для значення загального коефіцієнта ефективності 4

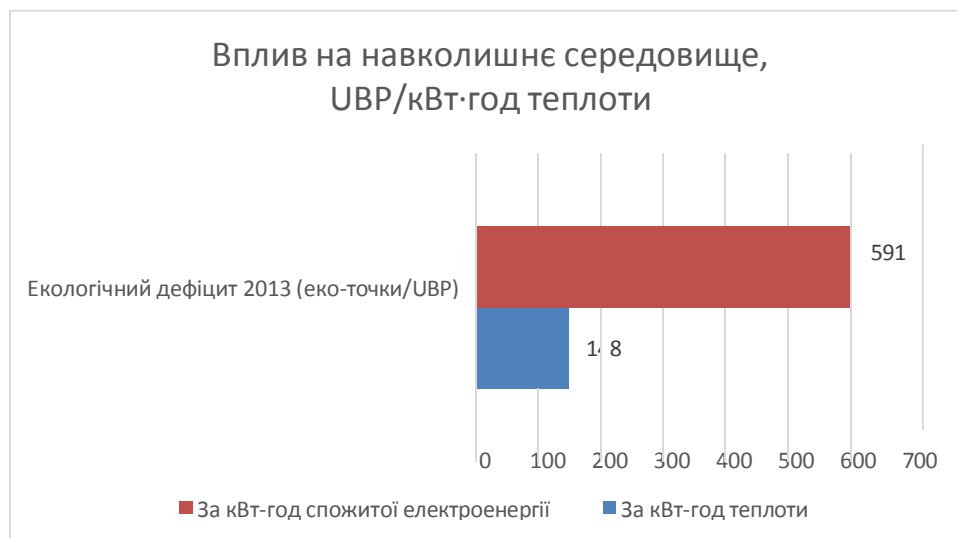


Рис. 7 – Показники роботи теплового насоса «вторинні енергоресурси-вода» для значення загального коефіцієнта ефективності 4

За результатами аналізу показників з рис. 1 – 7 ми робимо висновок, що використання теплоти стічних вод та вторинних енергоресурсів в теплових насосах забезпечує високу ефективність енергоперетворень та кращі екологічні показники. Визначено, що показники ефективності теплових насосів підвищуються зі збільшенням показника енергетичної ефективності.

За результатами аналізу показників базового та альтернативних варіантів схеми котельні з тепловим насосом з використанням різних джерел теплоти ми робимо висновок, що використання теплоти стічних вод та вторинних енергоресурсів в теплових насосах забезпечує високу ефективність енергоперетворень та кращі екологічні показники порівняно з базовим та низкою альтернативних варіантів застосування теплонасосних установок. Визначено, що показники ефективності теплових насосів підвищуються зі збільшенням показника енергетичної ефективності.

За результатами проведених досліджень та оцінки результатів проаналізовано енергетичні та екологічні переваги застосування теплонасосних установок для підвищення енергоефективності у тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні. Було обрано варіант модернізації теплової схеми водогрійної опалювальної котельні з теплонасосною установкою на теплоті вторинних енергоресурсів котельні.

### Висновки

1. В дослідженні виконаний аналіз показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі водогрійної котельні. Виконаний аналіз низки показників енергетичної та екологічної ефективності теплової схеми водогрійної котельні з ТНУ, використано методологічні основи та результати попередніх досліджень.
2. За результатами аналізу показників базового та альтернативних варіантів схеми котельні з тепловим насосом з використанням різних джерел теплоти ми робимо висновок, що використання теплоти стічних вод та вторинних енергоресурсів в теплових насосах забезпечує високу ефективність енергоперетворень та кращі екологічні показники порівняно з базовим та низкою альтернативних варіантів застосування теплонасосних установок. Визначено, що показники ефективності теплових насосів підвищуються зі збільшенням показника енергетичної ефективності.
3. За результатами проведених досліджень та оцінки результатів проаналізовано енергетичні та екологічні переваги застосування теплонасосних установок для підвищення енергоефективності у тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні. Було обрано варіант модернізації теплової схеми водогрійної опалювальної котельні з теплонасосною установкою на теплоті вторинних енергоресурсів котельні.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 62 p

2. Остапенко О. П. Холодильна техніка та холодильна технологія. Теплові насоси : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2015. 123 с.
3. Остапенко О. П., Бакум О. В., Ющишина А. В. Энергетичний, екологічний та економічний аспекти ефективності теплонасосних станцій на природних та промислових джерелах теплоти. Наукові праці ВНТУ. 2013. № 3. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/371/369> (Дата звертання 08.12.23)
4. Ostapenko O. P. Estimation of energy-ecological-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations in Ukraine, in the concepts of green logistics and sustainable development. Institutional Development Mechanism Of The Financial System Of The National Economy: Collective monograph. Batumi: Publishing House "Kalmosani", 2020, 232 p. P. 52 – 66.
5. Ostapenko Olga. Study of energy-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations, using the heat of the industrial and natural sources, in industry and municipal heat power branch of Ukraine. Social and Legal Aspects of the Development of Civil Society Institutions: Collective Monograph. Part I. Warsaw: Institute of European Integration, Bmt Eridia Sp. z o. o., 2019, 536 p. P. 292 – 308.
6. Ostapenko O. P. Estimation of tendencies of transforming the energy sectors of World, European Union and Ukraine in the perspective to 2050 with using the renewable energy sources in the concept of Sustainable Development. Social capital: Vectors of development of behavioural economics: Collective monograph. ACCESS Press Publishing house: Veliko Tarnovo, Bulgaria, 2021, 184 p. P. 99 – 139.
7. Ostapenko O, Alina G, Serikova M, Popp L, Kurbatova T and Bashu Z. (2023) Towards Overcoming Energy Crisis and Energy Transition Acceleration: Evaluation of Economic and Environmental Perspectives of Renewable Energy Development. In: Koval V, Olczak P (eds) *Circular Economy for Renewable Energy. Green Energy and Technology*. Cham: Springer,. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-30800-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-30800-0_7) (Дата звертання 08.12.23).
8. Остапенко О. П. Високоєфективні системи енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками: енергетичний, економічний та екологічний аспекти ефективності. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, технічний та агроекологічний аспекти: колект. моногр. Полтава: ПП Астроя, 2019. С. 526 – 530.
9. Остапенко О. П. Методичні основи з оцінювання енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти. Наукові праці ОНАХТ. 2017. Т. 81. Вип. 1. С. 136 – 141.
10. Остапенко О. П. Методичні основи з комплексного оцінювання енерго-еколого-економічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосними установками та піковими джерелами теплоти. Наукові праці ВНТУ. 2017. № 3. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/515/507> (Дата звертання 08.12.23)
11. Ostapenko, O., Savina, N., Mamatova, L., Zienina-Bilichenko, A. & Selezneva, O. (2020). Perspectives of application of innovative resource-saving technologies in the concepts of green logistics and sustainable development. Turismo: Estudos & Práticas (UERN), Mossoró/RN, Caderno Suplementar, 02. URL: <http://geplat.com/rtep/index.php/tourism/article/view/488> (Дата звертання 08.12.23)
12. Ostapenko, O. P. Substantiation of the method of complex assessment of energy-ecological-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations and peak sources of heat. Scientific Works of Vinnytsia National Technical University. 2018. №1. URL: <https://works.vntu.edu.ua/index.php/works/article/view/526/524> (Дата звертання 08.12.23)
13. Ostapenko O. P. Estimation of efficiency of energy- and resource-saving heat pump technologies in Ukraine, in the concepts of Green Logistics and Sustainable Development. Modern Approaches to Knowledge Management Development : Collective Monograph. Ljubljana: Visoka šola za poslovne vede. 2020, 543 p. P. 174 – 186.
14. Ostapenko, O.; Olczak, P.; Koval, V.; Hren, L.; Matuszewska, D.; Postupna, O. (2022). Application of Geoinformation Systems for Assessment of Effective Integration of Renewable Energy Technologies in the Energy Sector of Ukraine. Appl. Sci. 2022, 12, 592. URL : <https://doi.org/10.3390/app12020592> (Дата звертання 08.12.23)
15. Ostapenko Olga. Analysis of energy, ecological and economic efficiency of steam compressor heat pump installations, as compared with alternative sources of heat supply, with accounting the concept of sustainable development // Sustainable Development Under the Conditions of European Integration: Collective monograph / [editorial board Darko Bele, Lidija Weis, Nevenka Maher]. Part II. – Ljubljana: VŠPV, Visoka šola za poslovne vede = Ljubljana School of Business, 2019, 458 p. P. 312 – 329.
16. Ткаченко С. Й., Остапенко О. П. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання: монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця. 2009. 176 с.
17. HP FAT Calculator Programme-2023. URL: <https://www.dti.dk/specialists/heat-pumps-hp-fat/39679> (Дата звертання 08.12.23).
18. Engineering Equation Solver (EES). URL: <https://fchartsoftware.com/ees/> (Дата звертання 08.12.23)
19. Програмний продукт компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу. URL: <https://treeze.ch/> (Дата звертання 08.12.23).
20. Калькулятор централізованого опалення. URL: [https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLFernwaerme22\\_de\\_v4/Oekobilanzrechner\\_Fernwaerme\\_2022\\_deutsch\\_v4\\_UVEK2022.htm](https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLFernwaerme22_de_v4/Oekobilanzrechner_Fernwaerme_2022_deutsch_v4_UVEK2022.htm) (Дата звертання 08.12.23).
21. Калькулятор теплового насосу. URL: [https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLWaermepumpen22\\_de\\_v5/Oekobilanzrechner\\_Waermepumpen\\_2022\\_deutsch\\_v5\\_UVEK2022.htm](https://rechner.umweltchemie.ch/HTMLWaermepumpen22_de_v5/Oekobilanzrechner_Waermepumpen_2022_deutsch_v5_UVEK2022.htm) (Дата звертання 08.12.23).

**Ольга Павлівна Остапенко** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [ostapenko1208@gmail.com](mailto:ostapenko1208@gmail.com)

**Іванна Володимирівна Лисак** – студентка групи ТЕ-22м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Olga P. Ostapenko** – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Heat Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [ostapenko1208@gmail.com](mailto:ostapenko1208@gmail.com)

**Ivanna V. Lysak** – Student of the Faculty of the Building, of Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia