

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАРІАНТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ ПАРОВОЇ ПРОМИСЛОВО- ОПАЛЮВАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНОЇ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Проведено дослідження та оцінка показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок в теплової схемі парової промислово-опалювальної котельні.*

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

## *Abstract*

*Research and assessment of energy and environmental efficiency indicators of options for the use of heat pump installations in the thermal scheme of steam industrial-heating boiler house were carried out.*

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

## **Вступ**

Застосування теплових насосів для теплопостачання та в промисловості має низку енергетичних та екологічних переваг. До енергетичних переваг слід віднести високу енергоефективність та значну економію коштів порівняно з традиційними системами теплозабезпечення. До екологічних переваг слід віднести відсутність прямих викидів CO<sub>2</sub> та інших шкідливих речовин під час роботи; можливість використання відновлюваної енергії з повітря, ґрунту чи води; зниження загального вуглецевого сліду при використанні "зеленої" електроенергії, відсутність необхідності зберігання палива та ризиків його розливу, мінімальний вплив на локальні екосистеми порівняно з традиційними системами опалення. До додаткових переваг теплових насосів слід віднести тривалий термін експлуатації (15-20 років), низькі витрати на обслуговування, безпечність експлуатації (відсутність відкритого вогню та продуктів горіння); можливість інтеграції з сонячними панелями для повністю автономного енергозабезпечення. Варто зауважити, що початкові інвестиції у встановлення теплового насоса можуть бути досить високими, але вони компенсуються за рахунок низьких експлуатаційних витрат та екологічних переваг у довгостроковій перспективі.

В наших попередніх дослідженнях [1 – 16] були обґрунтовані та визначені показники енергетичної та економічної ефективності, та екологічної безпеки когенераційних теплонасосних установок, які підтверджують перспективність і доцільність застосування теплових насосів в теплоенергетиці і теплотехнологіях в Україні.

## **Результати дослідження**

**Метою дослідження** є оцінка показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок в теплової схемі парової промислово-опалювальної котельні. Підвищення енергоефективності в схемі котельні буде забезпечено при використанні теплоти вторинних енергоресурсів котельні в когенераційній теплонасосній установці (ТНУ). В дослідженні використано науково-методологічні основи та результати з попередніх досліджень з [1 – 16].

Початкові дані для виконання досліджень показників ефективності парокompресійних ТНУ з використанням математичної моделі ТНУ визначені у [1 – 2, 9 – 10, 16]. Математичний опис систем з ТНУ закладений у математичні моделі досліджень ТНУ у рекомендованих та широко застосовуваних програмних продуктах. Моделювання роботи теплових насосів здійснювалось в програмі HP FAT Calculator Programme-2023 [17] (що є розробкою Датського Технологічного Інституту).

На рис. 1 – 3 проілюстровано результати моделювання в програмі HP FAT для трьох режимів (сезонів) роботи схеми з теплонасосними установками з використанням теплоти від контактного утилізатора у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні.

На рис. 1 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу для першого сезону у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні.

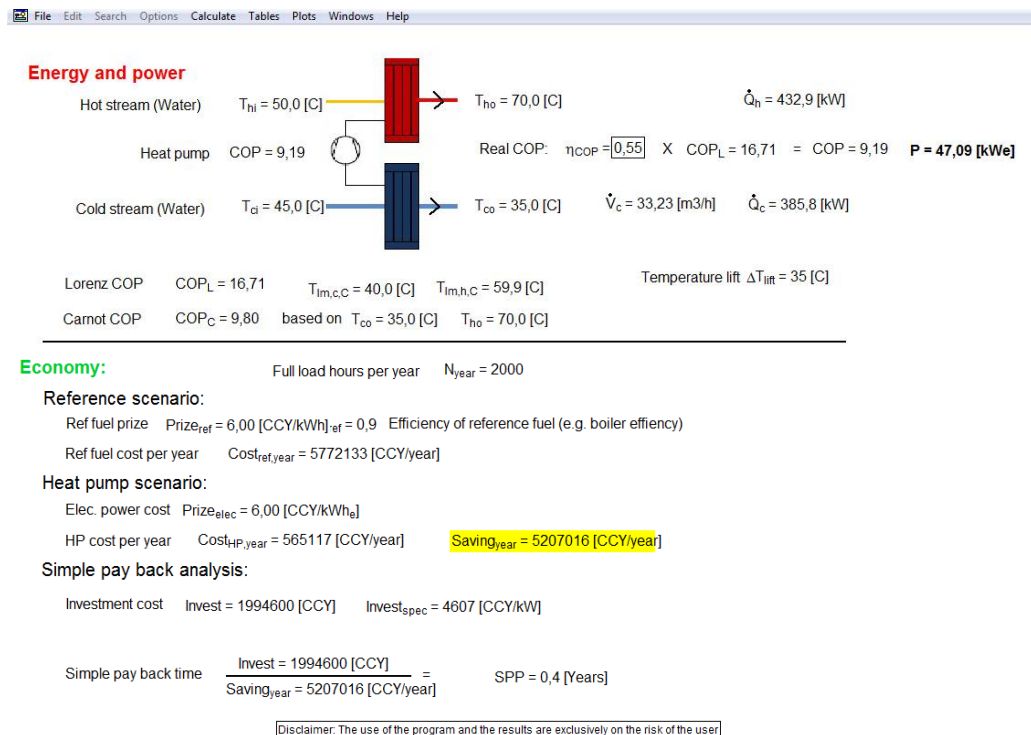


Рис. 1 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу для першого сезону у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні

На рис. 2 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу для другого сезону у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні.

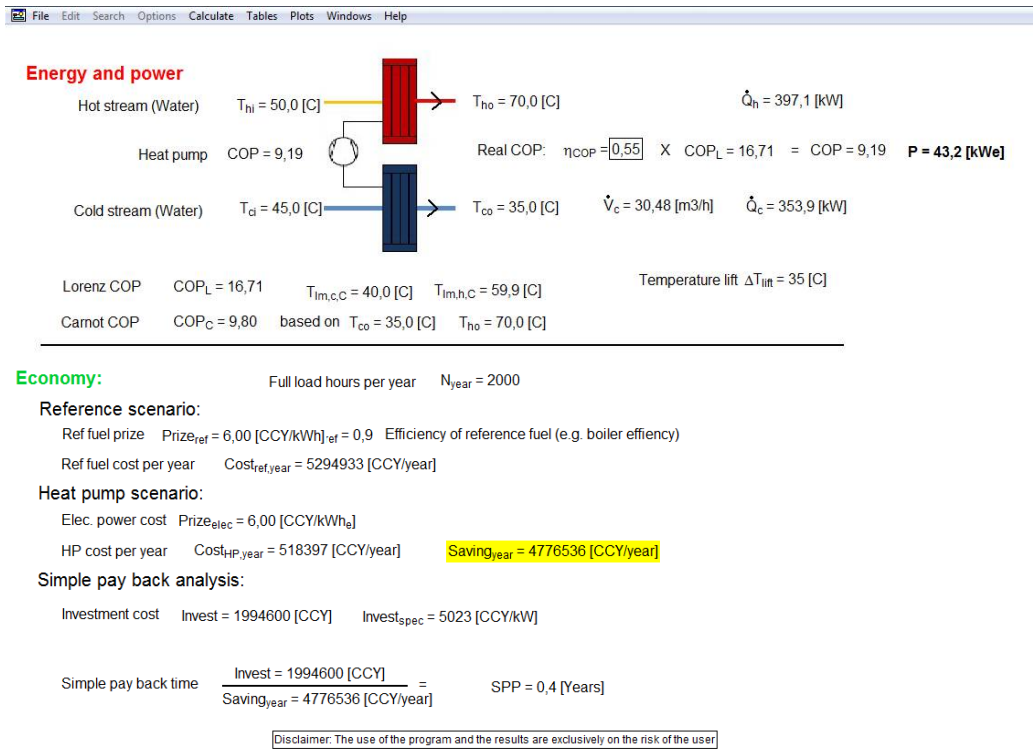


Рис. 2 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу для другого сезону у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні

На рис. 3 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу для третього сезону у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні.

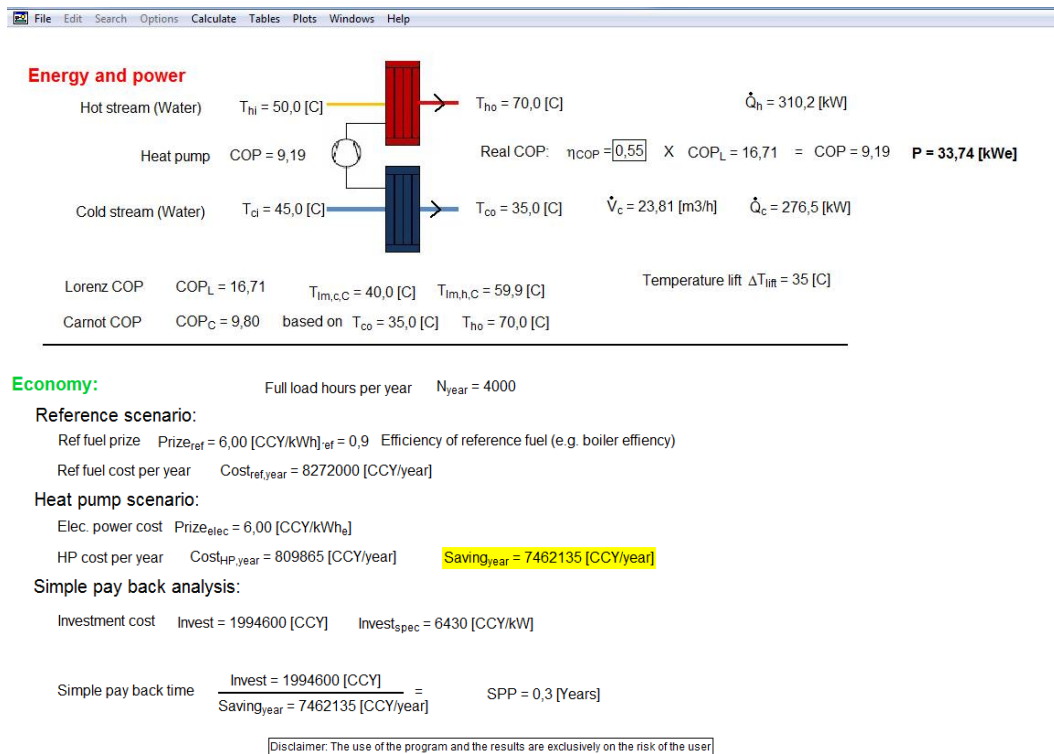


Рис. 3 - Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу для третього сезону у відповідності з режимними параметрами теплової схеми котельні

Екологічний вплив обраних варіантів модернізації було оцінено в програмі компанії Treeze Ltd, що створена для оцінки життєвого циклу [18]. Використано програму-калькулятор компанії Treeze Ltd для оцінки екологічного впливу ТНУ [19]. В цій програмі екологічний вплив варіантів оцінюється за Швейцарською методикою «Точка впливу на навколишнє середовище 2021» (оновлена версія). Програма-калькулятор компанії Treeze Ltd для оцінки ТНУ оцінює вплив джерела низькотемпературної теплоти, значення коефіцієнта перетворення ТНУ (загального та локального), враховує тип будівлі та пропонує структуру спожитої електроенергії (альтернативний варіант, мережева чи з відновлюваних джерел). Результати моделювання оцінюють екологічний вплив певної ТНУ та її режиму роботи, виду електричної енергії. Результати моделювання представлені на рис. 3 – 4.

На рис. 4 та 5 для прикладу показані енергетичні та екологічні показники роботи теплового насоса типу «вторинні енергоресурси-вода» (нова будівля) у разі значення локального коефіцієнта ефективності 3, електроенергія з мережі.

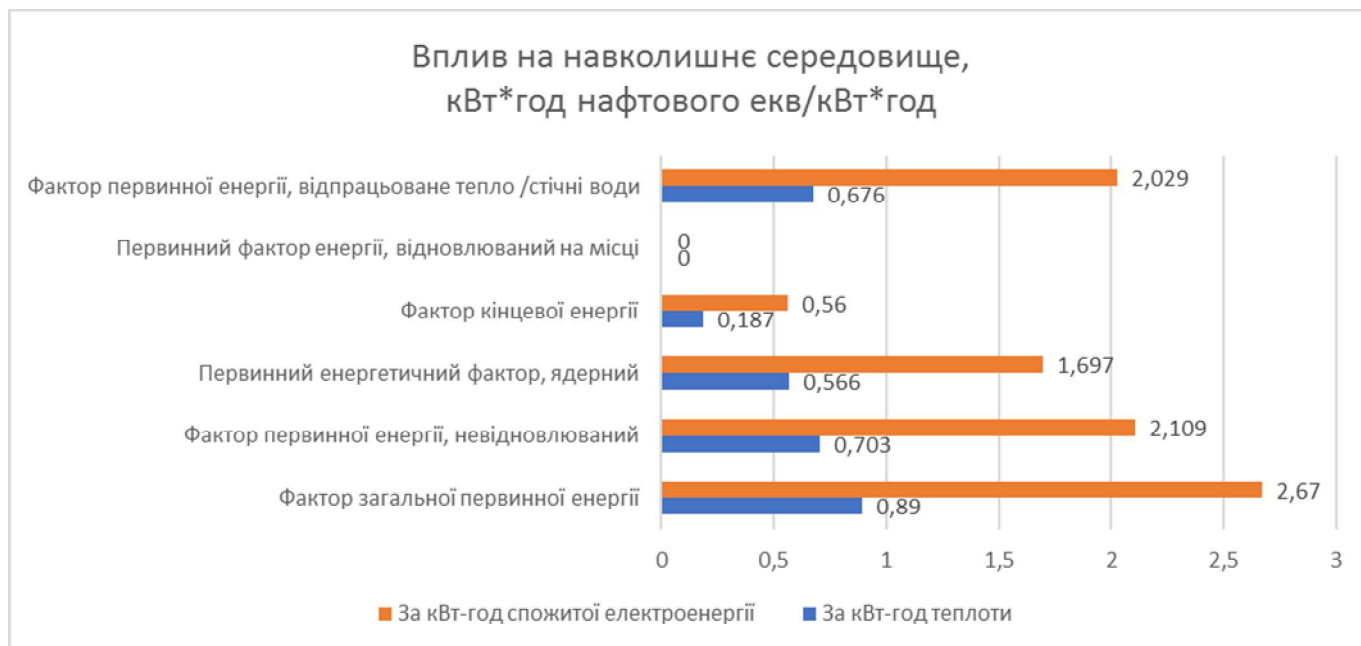


Рис. 4 – Результати моделювання енергетичних показників в «Калькуляторі теплового насосу»

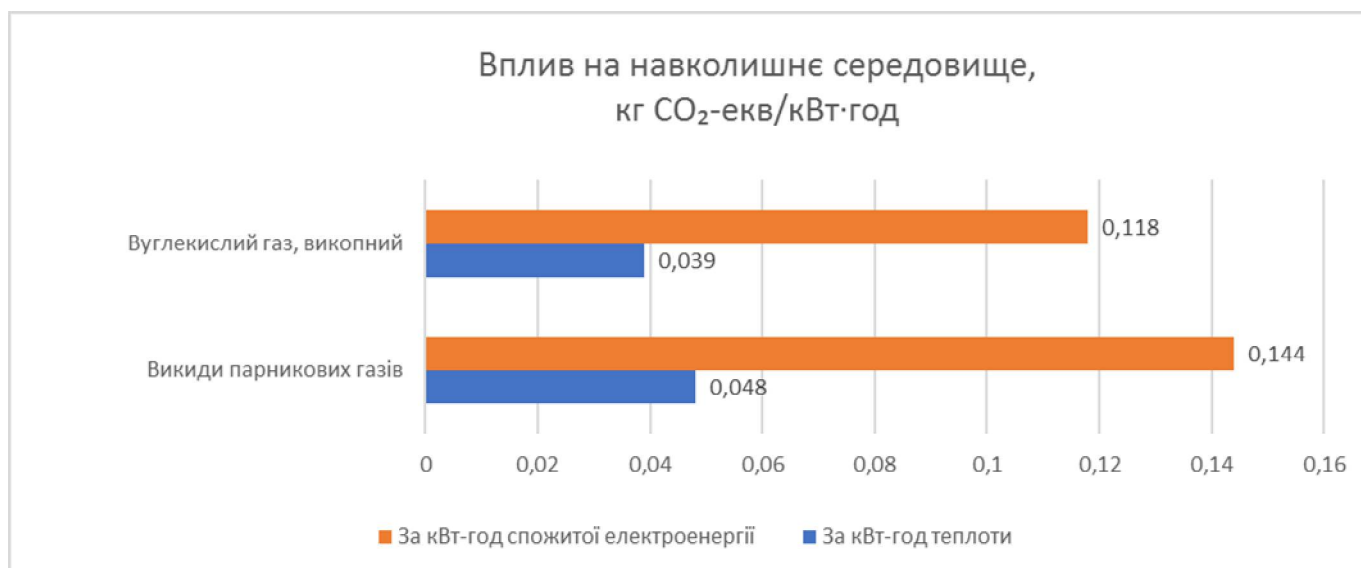


Рис. 5 – Результати моделювання екологічних показників в «Калькуляторі теплового насосу»

На основі аналізу показників ефективності варіантів застосування теплових насосів в тепловій схемі парової промислово-опалювальної котельні (рис. 1 – 5), підтверджена енергетична та економічна ефективність використання теплоти вторинних енергоресурсів в теплових насосах для теплової схеми парової промислово-опалювальної котельні, підтверджено покращення екологічних показників.

За результатами аналізу показників ефективності низки варіантів теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні з тепловими насосами визначено, що використання теплоти вторинних енергоресурсів котельні в теплових насосах забезпечить достатньо високу ефективність енергоперетворень та покращить екологічні показники котельні.

## Висновки

1. В дослідженні виконана оцінка показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі парової промислово-опалювальної котельні. Підвищення енергоефективності в схемі котельні буде забезпечено при використанні теплоти вторинних енергоресурсів котельні в когенераційній теплонасосній установці. В дослідженні використано науково-методологічні основи та результати з попередніх досліджень.

2. На основі аналізу показників ефективності варіантів застосування теплових насосів в тепловій схемі парової промислово-опалювальної котельні підтверджена енергетична та економічна ефективність використання теплоти вторинних енергоресурсів в теплових насосах для теплової схеми парової промислово-опалювальної котельні, підтверджено покращення екологічних показників.

3. За результатами аналізу показників ефективності низки варіантів теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні з тепловими насосами визначено, що використання теплоти вторинних енергоресурсів котельні в теплових насосах забезпечить достатньо високу ефективність енергоперетворень та покращить екологічні показники 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. Енергетичний, 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 01.12.24)
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 01.12.24).
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 01.12.24)

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 01.12.24)
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 01.12.24)
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 01.12.24)
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 01.12.24).
18. Програмний продукт компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу. URL: <https://treeze.ch/> (Дата звертання 01.12.24).
19. 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 01.12.24).

**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)

**Дмитро Сергійович Сич** – студент групи ТЕ-23м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

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

**Dmytro S. Sych** – Student of the Faculty of the Building, of Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia