

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

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*Проведено дослідження та оцінка показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі водогрійної котельні.*

**Ключові слова:** теплонасосна установка, техніко-економічні показники, тепла 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 a water heating boiler house were carried out.*

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

## Вступ

Теплові насоси набувають все більшої популярності у світі з кількох важливих причин:

1. Енергоефективність. Теплові насоси здатні виробляти в 3-5 разів більше теплової енергії, ніж споживають електричної. Це дозволяє суттєво економити на опаленні та гарячому водопостачанні порівняно з традиційними системами;

2. Екологічність: мінімальні викиди CO<sub>2</sub> у порівнянні з газовими та твердопаливними котлами, відсутність прямого спалювання палива, використання відновлюваної енергії з повітря, ґрунту чи води;

3. Економічна доцільність. Зростання цін на газ та інші викопні енергоносії робить теплові насоси все більш привабливою альтернативою. Хоча, початкові інвестиції в теплові насоси є вищими, проте, нижчі експлуатаційні витрати забезпечують їх окупність за 4-7 років. Слід відзначити довгий термін експлуатації теплових насосів (15-20 років) при належному обслуговуванні;

4. Універсальність використання: можливість забезпечення як потреб опалення взимку, так і потреб у охолодженні влітку; підходять для різних типів будівель: приватних будинків, комерційних приміщень, промислових об'єктів; можуть працювати в комбінації з іншими системами опалення;

5. Енергонезалежність: зменшення залежності від постачання газу; можливість роботи від сонячних панелей для ще більшої автономності; підвищення енергетичної безпеки країни в цілому;

6. Сучасні технології: постійне вдосконалення ефективності та надійності обладнання; розумні системи керування для оптимізації роботи; можливість віддаленого моніторингу та управління;

З огляду на поточні тенденції до підвищення енергоефективності будівель та перехід до відновлюваних джерел енергії, актуальність теплових насосів продовжуватиме зростати. Це особливо важливо в контексті глобальних кліматичних цілей та прагнення до енергетичної незалежності багатьох країн.

За результатами наших багаторічних досліджень ефективності комбінованих систем енергозабезпечення з теплонасосними установками [1 – 16] були визначені показники ефективності комбінованих когенераційних теплонасосних установок, які підтверджують їх високу енергетичну та економічну ефективність, екологічну безпеку та перспективність і доцільність їх застосування в теплоенергетиці і теплотехнологіях в Україні.

## Результати дослідження

**Метою дослідження** є оцінка показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі водогрійної котельні. Підвищення енергоефективності в тепловій схемі водогрійної котельні досягатиметься за рахунок використання теплоти вторинних енергоресурсів котельні в когенераційній теплонасосній установці (ТНУ). В дослідженні здійснено аналіз низки показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування ТНУ у тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні, використано науково-методологічні основи та результати з попередніх досліджень з [1 – 16].

Математичний опис матеріальних та енергетичних потоків закладений у математичну модель для досліджень ефективності ТНУ у відомих програмних продуктах. Моделювання та дослідження рівнів енергоефективності здійснювалось за допомогою програми HP FAT Calculator Programme-2023 [17], розробленої Датським Технологічним Інститутом. Зазначена програма базується на комерційному програмному пакеті Engineering Equation Solver (EES), який пропонує розв’язування систем лінійних та нелінійних рівнянь, в ньому забезпечені спеціалізовані функції, закладені рівняння з термодинаміки та теплопередачі. Програма дозволяє оцінювати термодинамічні властивості теплоносіїв, забезпечувати ітераційне розв’язання, забезпечує визначення термодинамічних властивостей холодоагенту з використанням вбудованих функцій. Пакет EES застосовується для моделювання та оптимізації, дозволяє оптимізувати вибрану змінну. EES розроблено компанією F-Chart Software [18]. Програма HP FAT Calculator Programme-2023 [17] здійснює оцінку ефективності застосування ТНУ в схемі, оцінює прості фінансові показники.

На рис. 1 – 2 для прикладу проілюстровано результати моделювання в програмі HP FAT для двох режимів 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 в тепловій схемі з використанням 65% потужності контактного утилізатора.

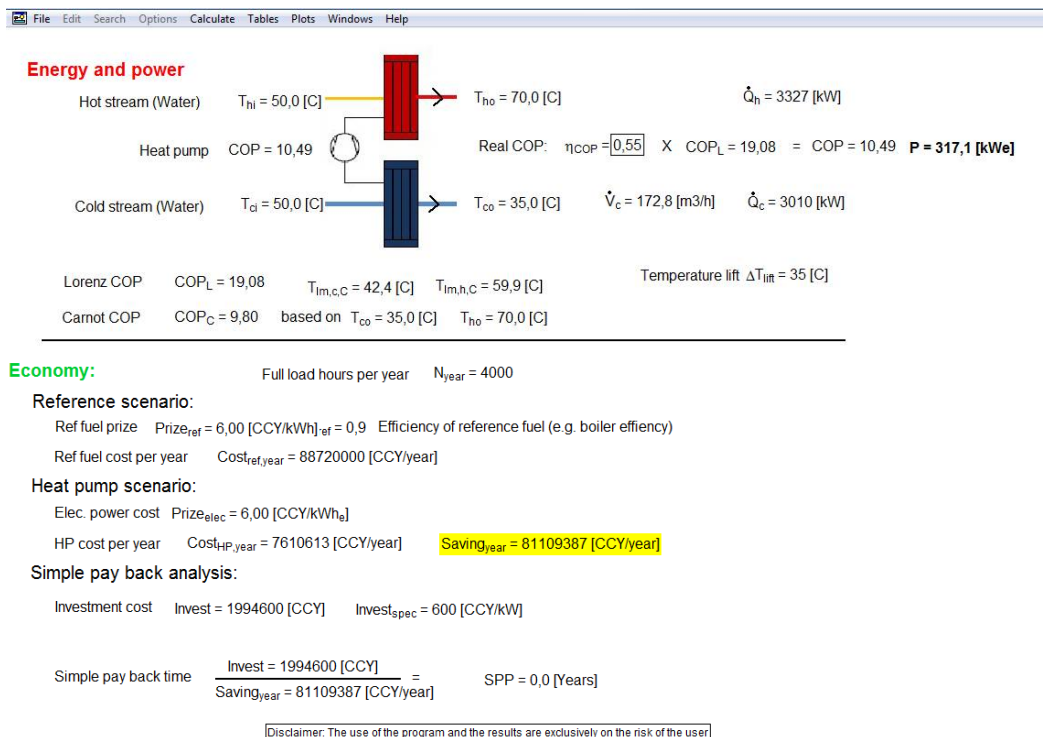


Рис. 1 – Результати моделювання HP FAT

На рис. 2 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насоса в тепловій схемі з використанням 55% потужності контактного утилізатора.

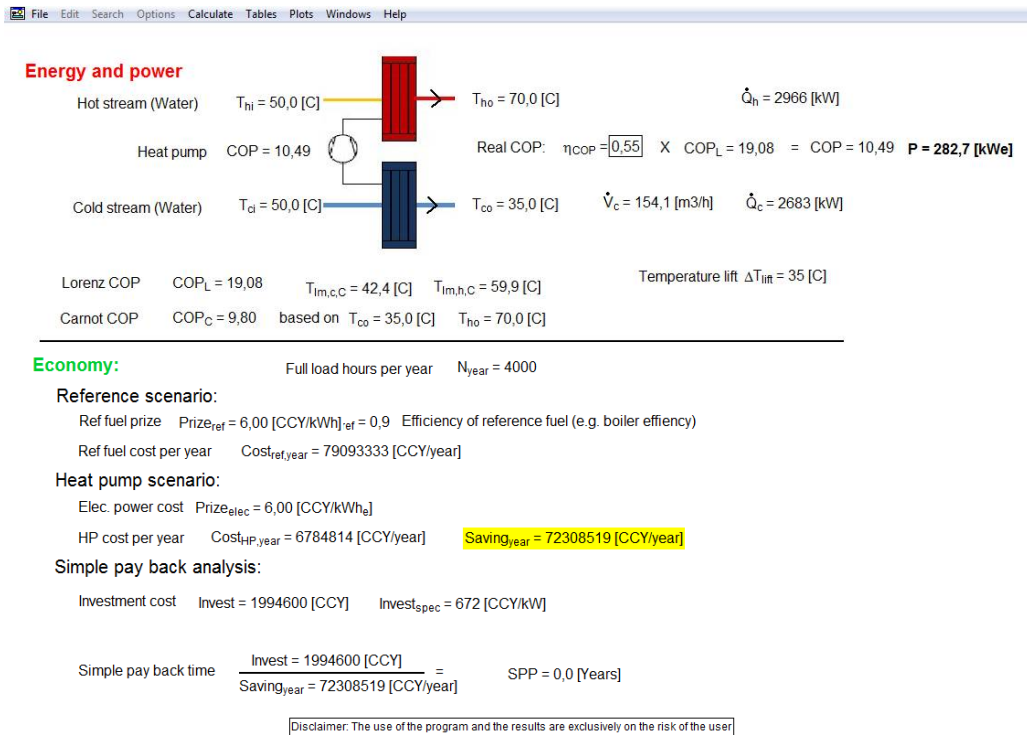


Рис. 2 – Результати моделювання HP FAT

Екологічний вплив для обраних варіантів оцінено в програмі компанії Treeze Ltd для оцінки життєвого циклу [19]. Використано програму-калькулятор для оцінки екологічного впливу ТНУ [20]. Екологічний вплив варіантів оцінюється за Швейцарською методикою «Точка впливу на навколишнє середовище 2021» (оновлена версія). Програма-калькулятор для оцінки ТНУ оцінює вплив джерела теплоти, значення коефіцієнта перетворення ТНУ (загального та локального), тип будівлі та враховує структуру спожитої електроенергії (альтернативний варіант, мережева чи з мережі з використанням відновлюваних джерел). Результати моделювання дозволяють оцінити екологічний вплив ТНУ та її режиму роботи, виду електричної енергії. Результати моделювання з використанням цих програмних продуктів представлені на рис. 3 – 4.

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

На основі аналізу показників ефективності досліджуваних варіантів застосування теплових насосів з рис. 1 – 4 можна зробити висновок про енергетичну та економічну ефективність використання теплоти вторинних енергоресурсів в теплових насосах для теплової схеми опалювальної котельні, буде забезпечено кращі екологічні показники.

За результатами аналізу показників ефективності альтернативних варіантів схеми опалювальної водогрійної котельні з тепловими насосами визначено, що використання теплоти вторинних енергоресурсів котельні в теплових насосах забезпечить достатньо високу енергоефективність та кращі екологічні показники котельні.

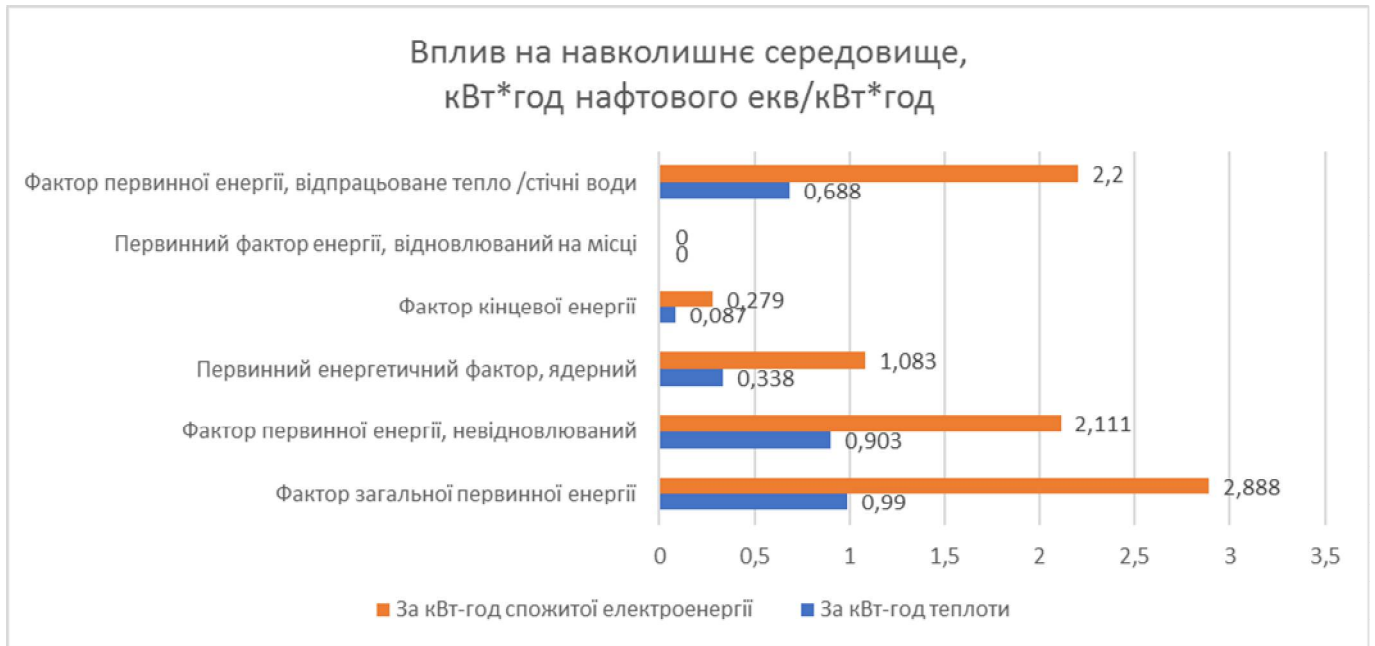


Рис. 3 – Результати моделювання енергетичних показників в «Калькуляторі теплового насосу»

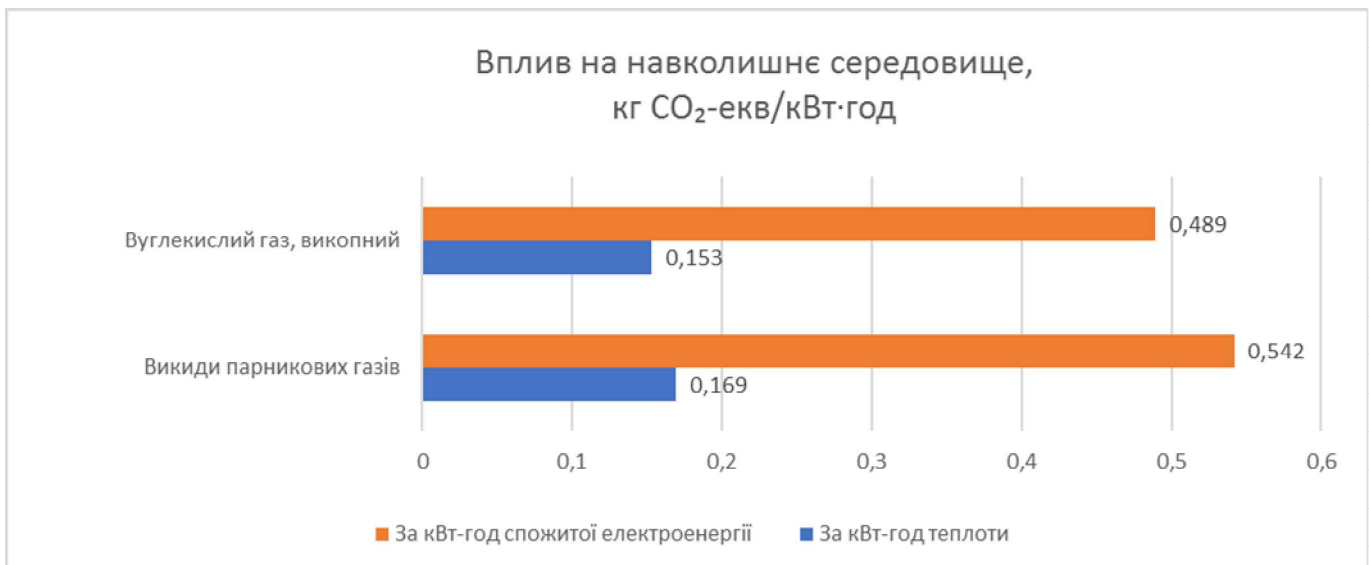


Рис. 4 – Результати моделювання екологічних показників в «Калькуляторі теплового насосу»

За результатами проведених досліджень був обраний варіант модернізації теплової схеми опалювальної водогрійної котельні з когенераційною теплонасосною установкою на теплоті вторинних низькотемпературних енергоресурсів котельні.

## Висновки

1. В дослідженні виконана оцінка показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі водогрійної котельні. Підвищення енергоефективності в тепловій схемі водогрійної котельні досягатиметься за рахунок використання теплоти вторинних енергоресурсів котельні в когенераційній теплонасосній установці. В дослідженні здійснено аналіз низки показників енергетичної та екологічної ефективності варіантів застосування ТНУ у тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні, використано науко-во-методологічні основи та результати з попередніх досліджень.
2. На основі аналізу показників ефективності досліджуваних варіантів застосування теплових насосів можна зробити висновок про енергетичну та економічну ефективність використання теплоти вторинних енергоресурсів в теплових насосах для теплової схеми опалювальної котельні, буде забезпечено кращі екологічні показники.
3. За результатами аналізу показників ефективності альтернативних варіантів схеми опалювальної водогрійної котельні з тепловими насосами визначено, що використання теплоти вторинних енергоресурсів котельні в теплових насосах забезпечить достатньо високу енергоефективність та кращі екологічні показники котельні. За результатами проведених досліджень був обраний варіант модернізації теплової схеми опалювальної водогрійної котельні з когенераційною теплонасосною установкою на теплоті вторинних низькотемпературних 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. 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 "Kalimosani", 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. Engineering Equation Solver (EES). URL: <https://fchartsoftware.com/ees/> (Дата звертання 01.12.24)
19. Програмний продукт компанії Treeze Ltd з оцінки життєвого циклу. URL: <https://treeze.ch/> (Дата звертання 01.12.24).
20. Калькулятор теплового насосу. URL: [https://rechner.umweltchemie.ch/HTML/Waermerpumpen22\\_de\\_v5/Oekobilanzrechner\\_Waermerpumpen\\_2022\\_deutsch\\_v5\\_UVEK2022.htm](https://rechner.umweltchemie.ch/HTML/Waermerpumpen22_de_v5/Oekobilanzrechner_Waermerpumpen_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)

**Олександр Володимирович Шиндир** – 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)

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