

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ КОТЕЛЬНОЇ ДЗВИНЯЦЬКОГО ЛІСОКОМБІНАТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Представлені результати моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату.

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

Abstract

The results of the simulation of the operation of the heat pump installation in the thermal scheme of the boiler house of the Dzvyniatsky woodworking plant are presented.

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

Вступ

На основі аналізу світових, європейських та українських літературних джерел визначено, що в оглядовій перспективі теплонасосна технологія займатиме ключову роль задля забезпечення енергетичної та екологічної стабільності української та європейської енергетичних систем. У липні 2020 року Європейська Комісія визначила Стратегію Інтеграції енергосистеми, що визначає розподіл різних видів енергоносіїв за секторами кінцевого використання (будівництво, промисловість, транспорт). Цією стратегією передбачено, що у Європі до 2030 року прогнозується використання опалення на основі електроенергії у 40% житлових і 65% комерційних будівель. Передбачається, що це буде забезпечуватись за умов широкого використання теплових насосів [1 – 16].

Результати дослідження

Метою дослідження є моделювання роботи теплонасосної установки (ТНУ) в тепловій схемі промислово-опалювальної парової котельні з використанням спеціалізованих програм: HP FAT Calculator Programme-2023 [17] та SOLKANE Refrigerants 8.0 [18]; аналіз варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі котельні, розрахунок ефективності низки варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі котельні, порівняльний аналіз ефективності варіантів застосування ТНУ та обґрунтування вибору найбільш ефективного варіанту для теплової схеми котельні. Виконаний аналіз низки показників енергетичної ефективності теплової схеми котельні з ТНУ, використано методологічні основи та результати досліджень з [1 – 16].

Початкові дані, необхідні для моделювання та виконання досліджень показників ефективності теплонасосних установок з використанням математичної моделі парокомпресійної теплонасосної установки визначені у [8 – 16]. Математичний опис систем з тепловими насосами закладений у модель для досліджень показників теплонасосних установок у відомих та широко застосовуваних програмних продуктах.

Моделювання роботи теплових насосів здійснювалось у спеціалізованій програмі HP FAT Calculator Programme-2023 [17] (розробка Датського Технологічного Інституту). HP FAT (Heat Pump First Assessment Tool) працює на основі пакета Engineering Equation Solver (EES) [19] і відповідного математичного опису теплового насосу. EES забезпечує врахування термодинамічних властивостей, спрощує визначення термодинамічних властивостей холодоагенту з використанням вбудованих фун-

кцій. HP FAT виконує оцінку показників ефективності схем з тепловим насосом, потужностей та визначає прості фінансові показники.

На рис. 1 – 3 проілюстровано результати моделювання в програмі HP FAT для трьох 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 теплової схемі для першого режиму роботи.

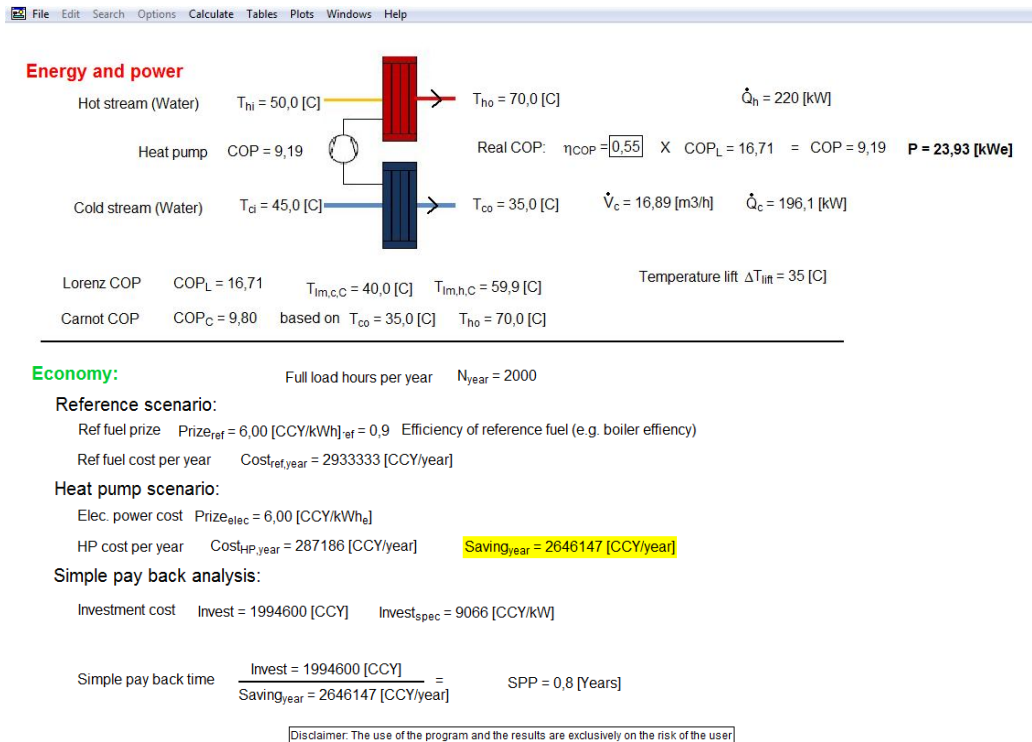


Рис.1 – Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в теплової схемі для першого режиму роботи

На рис. 2 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в теплової схемі для другого режиму роботи.

На рис. 3 наведені результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в теплової схемі для третього режиму роботи.

Розрахунки показників ефективності ТНУ для теплової схеми котельні для трьох режимів роботи ТНУ виконувались з використанням спеціалізованої програми SOLKANE Refrigerants 8.0 [18], яка є потужною спеціалізованою програмою з обчислення теплофізичних властивостей холодоагентів та розрахунку циклів ТНУ. Програма обчислює термодинамічні властивості всіх холодоагентів Solkane та низки CFC, містить модулі з обчислення різних процесів та циклів, а також розрахунків трубопроводів холодоагенту.

Результати моделювання циклів ТНУ для трьох режимів роботи промислово-опалювальної парової котельні в програмі SOLKANE Refrigerants 8.0 показані на рис. 4 – 9.

Проведено математичне моделювання та виконаний багатоваріантний аналіз з визначення ефективності чотирьох варіантів модернізації теплової схеми котельні Дзвиняцького лісокомбінату, де аналізуються показники енергетичної ефективності, на основі використання наукових результатів та методик з літературних джерел [8 – 16].

Проведено багатоваріантний аналіз ефективності проектних рішень теплової схеми котельні з ТНУ, що враховує енергетичну ефективність варіантів модернізації теплової схеми.

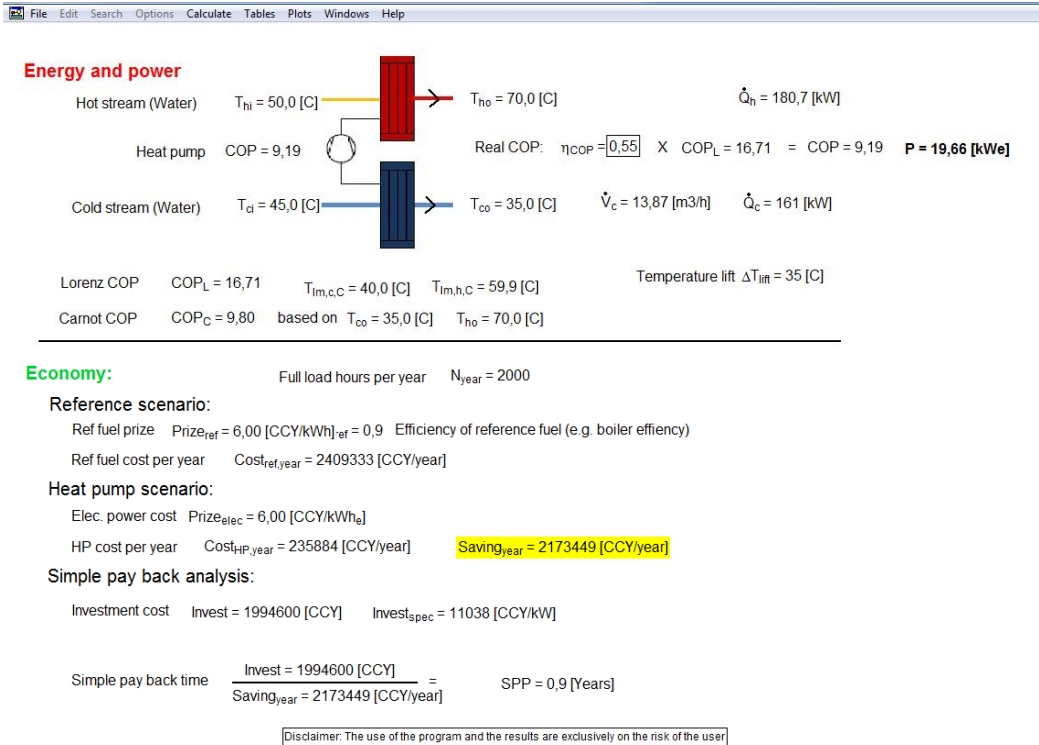


Рис. 2 – Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі для другого режиму роботи

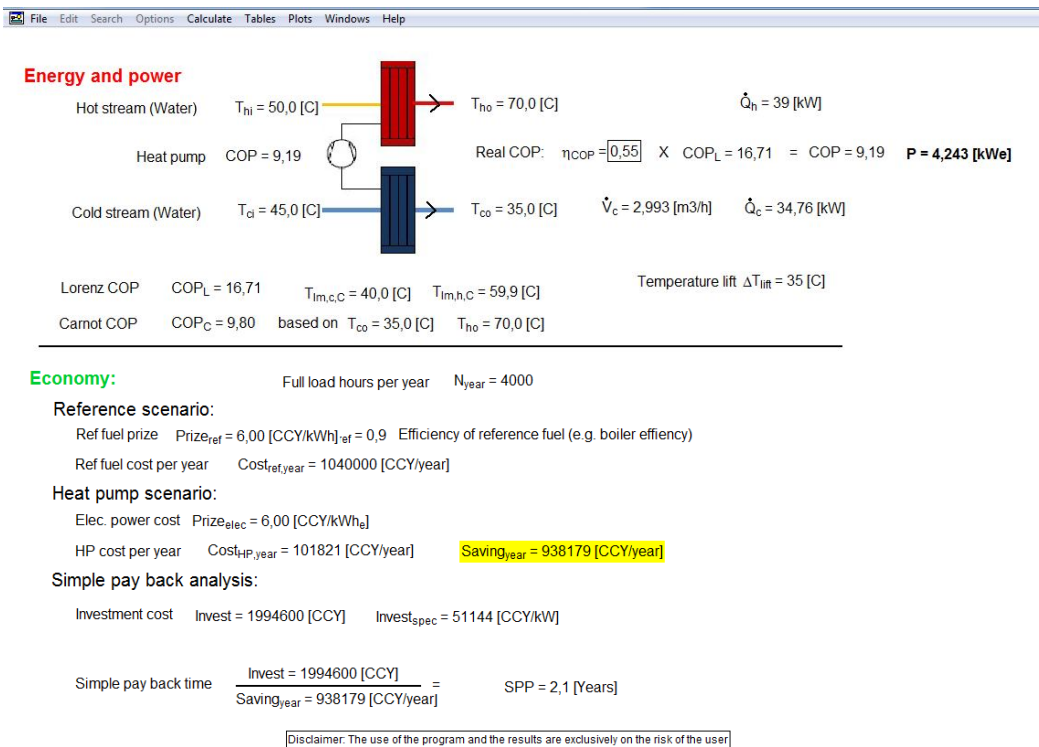


Рис.3 – Результати моделювання в програмі HP FAT роботи теплового насосу в тепловій схемі для третього режиму роботи

Для здійснення аналізу варіантів модернізованої теплової схеми з встановленням ТНУ розглянемо результати досліджень для чотирьох варіантів:

1 – застосування ТНУ в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату для роботи в трьох сезонах;

2 – застосування ТНУ в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату для роботи в першому та другому сезонах;

3 – застосування ТНУ в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату для роботи в другому та третьому сезонах;

4 – застосування ТНУ в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату для роботи в першому та третьому сезонах.

Результати моделювання для багатоваріантного аналізу застосування теплового насосу в тепловій схемі парової котельні Дзвиняцького лісокомбінату показані на рис. 4 – 9.

На рисунках позначено: режими: МО – максимальний опалювальний, СО – середній опалювальний, МіжОПАЛ – міжопалювальний режим; ДВЗ – двигун внутрішнього згорання.

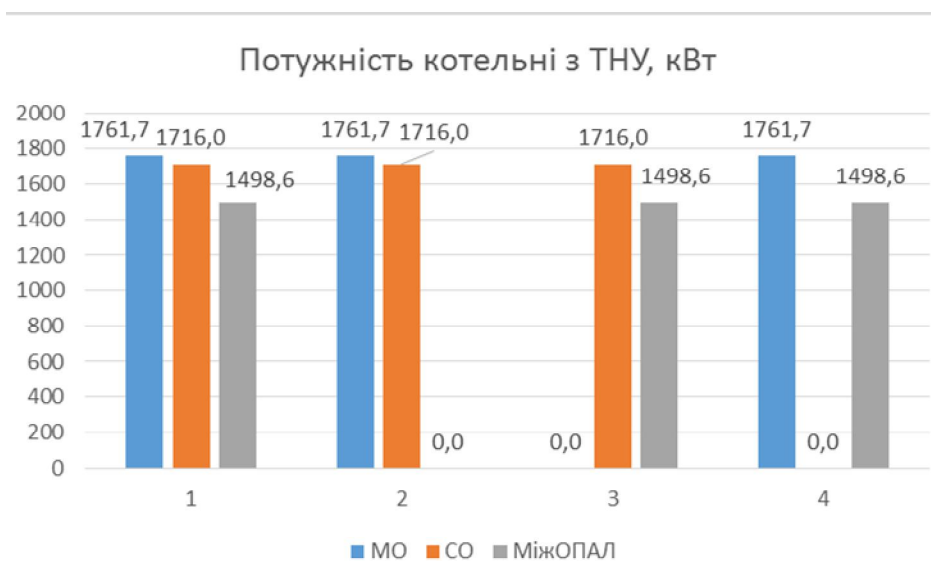


Рис. 4 – Потужність котельні з ТНУ

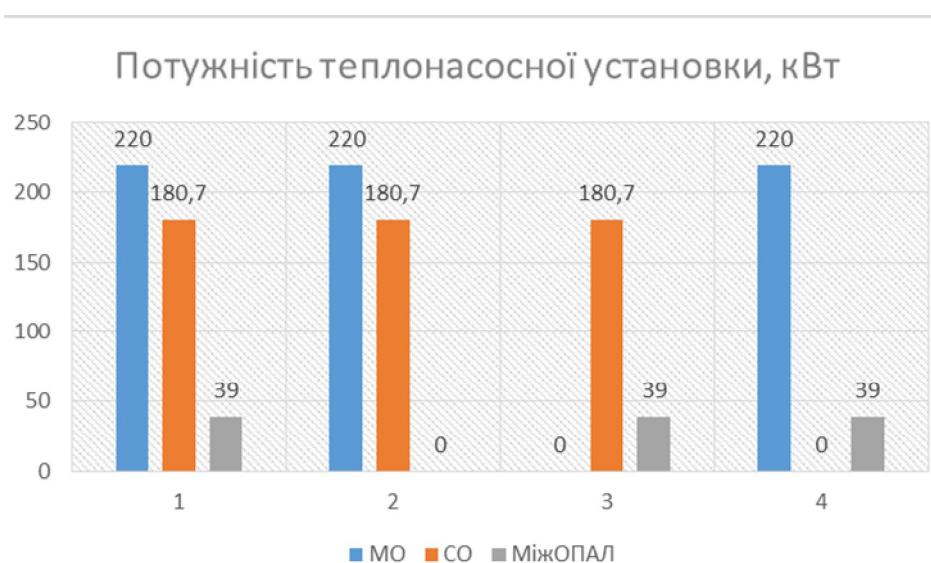


Рис. 5 – Потужність теплонасосної установки



Рис. 6 – Споживана електрична потужність ТНУ

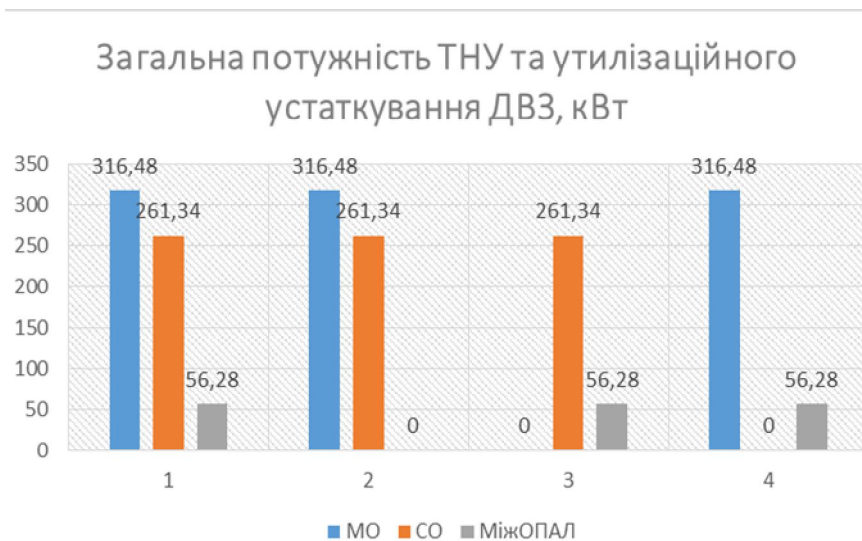


Рис. 7 – Загальна потужність ТНУ та утилізаційного устаткування ДВЗ

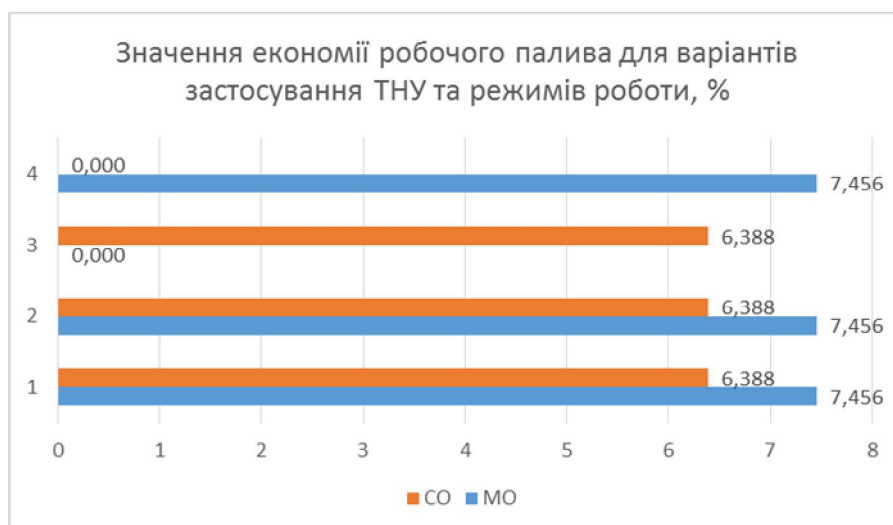


Рис.8 – Значення економії робочого палива для варіантів застосування ТНУ та режимів роботи, %



Рис. 9 – Значення економії робочого палива для варіантів застосування ТНУ, %

Як видно із рис. 8 та 9, найбільша економія робочого палива відповідає першому варіанту застосування ТНУ з роботою в трьох режимах. Наступним за ефективністю є варіант із застосуванням ТНУ в першому та другому режимах. Але, у разі роботи ТНУ за першим варіантом, є недостатня завантаженість ТНУ в міжопалювальному режимі.

Тому ми обираємо до впровадження варіант номер 2, для якого економія робочого палива складає 6,92% та ТНУ працює в першому та другому режимі.

За результатами проведеного багатоваріантного аналізу низки енергетичних показників досліджених варіантів модернізації було обрано варіант застосування парокомпресійної ТНУ з приводом від поршневого двигуна на природному газі. Джерелом низькотемпературної теплоти для ТНУ буде теплота від контактного утилізатора. За вказаним переліком показників вищевказаний варіант модернізації теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні Дзвиняцького лісокомбінату був обраний до проектування.

Висновки

1. В дослідженні виконано моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі котельні Дзвиняцького лісокомбінату з використанням спеціалізованих програм: HP FAT Calculator Programme-2023 та SOLKANE Refrigerants 8.0, виконаний аналіз варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі котельні, здійснено розрахунок ефективності низки варіантів застосування теплонасосних установок в тепловій схемі котельні.
2. Виконано моделювання роботи теплонасосної установки в тепловій схемі промислово-опалювальної парової котельні. Здійснено порівняльний аналіз ефективності варіантів застосування ТНУ та обґрунтування вибору найбільш ефективного варіанту для теплової схеми котельні.
3. За результатами проведеного багатоваріантного аналізу низки енергетичних показників досліджених варіантів модернізації було обрано варіант застосування парокомпресійної ТНУ з приводом від поршневого двигуна на природному газі, для якого економія робочого палива складає 6,92% та ТНУ працює в першому та другому режимі. Джерелом низькотемпературної теплоти для ТНУ буде теплота від контактного утилізатора. За представленим переліком показників вищевказаний варіант модернізації теплової схеми промислово-опалювальної парової котельні Дзвиняцького лісокомбінату був обраний до проектування.

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 15.03.24)
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 (Дата звертання 15.03.24).
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 15.03.24)
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 15.03.24)
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 15.03.24)
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 15.03.24)
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 15.03.24).
18. SOLKANE Refrigerants 8. URL: <https://solkane-refrigerants.software.informer.com/8.0/> (Дата звертання 15.03.24).
19. Engineering Equation Solver (EES). URL: <https://fchartsoftware.com/ees/> (Дата звертання 15.03.24)

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

Сергій Валерійович Хмара – 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

Serhii V. Khmara – Student of the Faculty of the Building, of Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia