

# ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ В ТЕПЛОВІЙ СХЕМІ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНОЇ В МІСТІ СЛАВУТА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*В статті розглянуті питання з підвищення ефективності енерговикористання та визначення енергоефективних режимів роботи теплової схеми котельні з використанням когенераційно-теплонасосних установок (КТНУ), виконана оцінка обсягів економії енергоресурсів від застосування КТНУ в теплової схемі котельні. Проведені дослідження з підвищення ефективності енерговикористання для теплової схеми котельні (на прикладі котельні в місті Славути) із використанням КТНУ. Досліджено та оцінено вплив режимів роботи теплової схеми котельні із застосуванням КТНУ на показники енергетичної та економічної ефективності теплової схеми котельні. Визначено енергоефективні режими та економічно обґрунтовані умови застосування КТНУ в теплової схемі котельні (на прикладі котельні в місті Славути). Розроблені рекомендації із підвищення ефективності енерговикористання для теплової схеми котельні (на прикладі котельні в місті Славути) із застосуванням КТНУ. Встановлено енергетичний та економічний ефект від застосування КТНУ в теплової схемі котельні в місті Славути. Оцінено економічну ефективність модернізації теплової схеми котельні в місті Славути з встановленням КТНУ в теплової схемі котельні.*

**Ключові слова:** ефективність енерговикористання, енергетична ефективність, економічна ефективність, система енергозабезпечення, когенераційно-теплонасосна установка.

## **Abstract**

*In this paper the issues of increase of energy use efficiency and determination of energy efficient modes of operation of the boiler thermal scheme with using cogeneration-heat pump installations (CHPI) were considered, the estimation of the energy saving volumes from the use of CHPI in the boiler thermal scheme is carried out. In this paper the researches on increase of efficiency of energy use for a boiler-house thermal scheme (on the example of a boiler-house in the city of Slavuta) with the use of CHPI were carried out. Influence of operating modes of the boiler-house thermal scheme with the use of CHPI on the energy and economic efficiency indicators of the boiler-house thermal scheme was investigated and evaluated. Energy efficiency modes have been determined and economically justified conditions for the use of CHPI in the boiler-house thermal scheme (for example, a boiler-house in the city of Slavuta) are determined. Recommendations for improving energy efficiency for the boiler-house thermal scheme (for example, a boiler-house in the city of Slavuta) with the use of CHPI have been developed. The energy and economic effect of the CHPI application in the thermal scheme of the boiler-house in the city of Slavuta was established. The cost-effectiveness of modernization of the boiler-house thermal scheme in the city of Slavuta with the installation of the CHPI in the boiler-house thermal scheme was estimated.*

**Key words:** energy use efficiency, energy efficiency, economic efficiency, energy supply system, cogeneration heat pump installation.

## **Вступ**

На основі результатів багаторічних досліджень [1 – 16] були отримані кількісні оцінки відносної паливної економічності комбінованих когенераційних теплонасосних установок (в порівнянні з традиційними способами генерації теплоти - з використанням котельних установок і автономних теплонасосних установок, що споживають мережеву електроенергію), які підтверджують більш високу енергоефективність комбінованих установок, перспективність і доцільність їх застосування в муніципальній теплоенергетиці і теплотехнологіях в Україні.

**Метою дослідження** є підвищення ефективності енерговикористання в тепловій схемі водогрійної котельні (ТСВК) з використанням когенераційно-теплонасосних установок, визначення енергоефективних та економічно обґрунтованих режимів роботи, оцінка обсягів економії коштів та енергоресурсів у разі застосування КТНУ в тепловій схемі.

**Завдання дослідження:**

- дослідити засоби з підвищення ефективності енерговикористання у ТСВК (на прикладі котельні в місті Славута) у разі використання КТНУ;
- дослідити та оцінити вплив змінних режимів роботи ТСВК (на прикладі котельні в місті Славута) із КТНУ на показники ефективності ТСВК;
- провести дослідження, визначити енергоефективні та економічно доцільні режими та умови застосування КТНУ в ТСВК (на прикладі котельні в місті Славута);
- розробити рекомендації із підвищення ефективності енерговикористання в ТСВК (на прикладі котельні в місті Славута) із застосуванням в схемі КТНУ.

### **Результати дослідження**

Досліджено та проаналізовано ефективність роботи ТСВК з КТНУ з комбінованим використанням низькотемпературних джерел теплоти (на прикладі теплової схеми опалювальної котельні в м. Славута), з метою визначення за результатами виконаного аналізу енергоефективних та економічно обґрунтованих режимів роботи ТСВК з КТНУ.

В нашому дослідженні, з метою покращення показників роботи теплової схеми котельні в м. Славута, запропоновано застосувати низку енергоефективних та економічно доцільних варіантів застосування КТНУ на основі парокompресійних теплових насосів та газопоршневих двигунів-генераторів, з використанням в КТНУ теплоти відхідних газів котлів та природних джерел низькотемпературної теплоти. Оцінена ефективність застосування п'яти варіантів застосування КТНУ в тепловій схемі опалювальної котельні в м. Славута при роботі в двох сезонах зі змінним навантаженням теплових споживачів та комбінованим сезонним використанням в КТНУ теплоти промислових та природних низькотемпературних джерел. Дослідження проведено методом числового експерименту, визначено енергетичну та економічну ефективність теплової схеми котельні з КТНУ. Енергоефективні та економічно обґрунтовані режими роботи теплової схеми котельні з КТНУ визначалися з використанням програми SOLKANE Refrigerants 8.0, адекватність результатів якої підтверджено характеристиками обладнання та холодоагентів за даними фірм-виробників.

В нашому дослідженні [1] проведений аналіз енергетичної та економічної ефективності п'яти варіантів застосування КТНУ для теплової схеми опалювальної водогрійної котельні в м. Славута на основі досліджень [1 – 11]. Дослідження енергетичних та економічних показників роботи опалювальної водогрійної котельні з різними варіантами застосування КТНУ було проведено з використанням результатів досліджень ефективності систем енергозабезпечення (СЕ) з КТНУ з публікацій [1 – 11] та методичних основ з оцінювання ефективності СЕ, запропонованих в роботах [12 – 16].

Опалювальна водогрійна котельня на природному газі в м. Славута забезпечує потреби теплових споживачів житлового масиву «Сонячний»: потужність опалення становить 6 МВт, потужність споживачів гарячого водопостачання – 2 МВт. В нашому дослідженні [1] запропоновано п'ять варіантів застосування КТНУ з використанням теплоти від контактного утилізатора теплоти відхідних газів котельні. Енергоефективні СЕ з парокompресійними КТНУ, запропоновані в дослідженнях [1 – 11] та рекомендовані до застосування в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні в м. Славута, мають когенераційний привод від газопоршневих двигунів-генераторів.

Нами проведено дослідження [1] показників енергетичної та економічної ефективності для п'яти варіантів застосування КТНУ в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні в м. Славута. Результати проведених досліджень узагальнені в таблиці 1. В таблиці 1 позначені такі варіанти застосування КТНУ в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні в м. Славута: 1 – застосування КТНУ в тепловій схемі з використанням 100% потужності контактного утилізатора теплоти відхідних газів; 2 – застосування КТНУ в тепловій схемі з використанням 80% потужності контактного утилізатора теплоти відхідних газів; 3 – застосування КТНУ в тепловій схемі з використанням 60% потужності контактного утилізатора теплоти відхідних газів; 4 – застосування КТНУ в тепловій схемі з використанням 40% потужності контактного утилізатора теплоти відхідних газів; 5 – застосування з

КТНУ в тепловій схемі з використанням 30% потужності контактного утилізатора теплоти відхідних газів.

Таблиця 1 – Показники ефективності варіантів теплової схеми опалювальної водогрійної котельні в м. Славута з використанням КТНУ

Показник	Варіант використання КТНУ				
	1	2	3	4	5
Економія робочого палива, %	31,98	30,38	28,61	26,67	25,54
Річна економія робочого палива, тис. м <sup>3</sup> /рік	1509,4	1433,9	1350,4	1258,8	1205,5
Річна економія коштів, млн. грн./рік	14,405	13,685	12,887	12,013	11,504
Температура відхідних газів, °С	55	76	97	118	128,5

*Джерело: дослідження авторів з публікації [1]*

За результатами дослідження [1] (див. табл. 1) визначено, що найбільш ефективним за енергетичними та економічними показниками є варіант застосування КТНУ в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні в м. Славута з використанням 40% потужності контактного утилізатора теплоти відхідних газів котельні в утилізаційному обладнанні та КТНУ. Для цього варіанту застосування КТНУ в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні в м. Славута температура відхідних газів становитиме 118°С, буде забезпечуватись економія робочого палива в обсязі 26,67%, річна економія коштів на паливі становитиме 12,01 млн. грн./рік. Проведений в дослідженні [1] аналіз ефективності п'яти варіантів застосування КТНУ в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні в м. Славута дозволив визначити ефективний варіант роботи теплової схеми котельні з КТНУ, з використанням 40% потужності контактного утилізатора теплоти відхідних газів котельні.

В нашому дослідженні визначено, що у разі застосування обраного варіанту модернізації теплової схеми водогрійної котельні з КТНУ в м. Славута, будуть забезпечені енергоефективні та економічно обгрунтовані змінні режими роботи з комбінованим сезонним використанням низькотемпературної теплоти промислових та природних джерел: сезонна економія робочого палива котельнею з КТНУ буде змінюватись в межах 19,77...34,46%, річна економія робочого палива котельнею з КТНУ становитиме 26,67%. Для цього варіанту застосування КТНУ в тепловій схемі котельні буде забезпечено економію коштів котельнею в обсязі 2,57 млн. грн./рік

За обраним варіантом модернізації теплової схеми з встановленням КТНУ, для теплової схеми котельні в м. Славута було підбрано теплонасосне та когенераційне обладнання. Передбачено встановлення: газопоршневого двигуна-генератора марки ГДГА800 з номінальною потужністю електрогенератора 800 кВт виробництва ТДВ «Первомайськдизельмаш», теплового насоса марки НТ-1000, утилізатора теплоти відхідних газів котла (КТАН-утилізатора) марки КТАН-1,5УГ, насосів фірми GLONG.

В нашому дослідженні [2] представлено техніко-економічне обгрунтування застосування КТНУ для теплової схеми котельні в місті Славута. Економічний ефект від використання КТНУ в тепловій схемі котельні підтверджується економічною ефективністю капіталовкладень, економією природного газу та економією коштів на паливі у порівнянні з діючою котельнею – базовим варіантом джерела теплозабезпечення (ДТ). В нашому дослідженні виконано порівняння економічної ефективності цих варіантів ДТ на основі досліджень [1, 2, 12 – 16], результати представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати техніко-економічного аналізу варіантів

Показник	Одиниця вимірювання	Варіант	
		Базовий варіант ДТ	ДТ з КТНУ
Капіталовкладення в нове обладнання з урахуванням витрат на монтаж	млн. грн.	---	9,98
Експлуатаційні витрати	млн. грн./рік	57,89	55,32
Економічна ефективність	млн. грн./рік	---	2,57
Термін окупності	рік	---	3,88

*Джерело: дослідження авторів з публікації [2]*

Визначено, що у випадку використання обраного варіанту застосування КТНУ в тепловій схемі котельні в місті Славута буде забезпечено зниження собівартості теплової енергії після модернізації теплової схеми та зниження експлуатаційних витрат на 2,57 млн. грн./рік. За результатами техніко-економічного аналізу визначено, що капіталовкладення в нове обладнання КТНУ становитимуть 9,98 млн. грн., термін окупності нового обладнання становитиме 3,88 року.

### Висновки

В статті розглянуті питання з підвищення ефективності енерговикористання та визначення енерго-ефективних режимів роботи теплової схеми котельні з використанням когенераційно-теплонасосних установок, виконана оцінка обсягів економії енергоресурсів від застосування КТНУ в тепловій схемі котельні. Досліджено та оцінено вплив режимів роботи теплової схеми котельні із застосуванням КТНУ на показники енергетичної та економічної ефективності теплової схеми котельні (на прикладі котельні в місті Славута). Визначено енергоефективні режими та економічно обґрунтовані умови застосування КТНУ в тепловій схемі котельні (на прикладі котельні в місті Славута). Розроблені рекомендації із підвищення ефективності енерговикористання для теплової схеми котельні (на прикладі котельні в місті Славута) із застосуванням КТНУ. Встановлено енергетичний та економічний ефект від застосування КТНУ в тепловій схемі котельні в місті Славута. Оцінено економічну ефективність модернізації теплової схеми котельні в місті Славута з встановленням КТНУ в тепловій схемі котельні. Дослідження проведено методом числового експерименту, визначено енергетичну та економічну ефективність теплової схеми котельні з КТНУ. Енергоефективні та економічно обґрунтовані режими роботи теплової схеми котельні з КТНУ визначалися з використанням програми SOLKANE Refrigerants 8.0, адекватність результатів якої підтверджено характеристиками обладнання та холодоагентів за даними фірм-виробників.

В статті, на основі багатоваріантного аналізу, наведено обґрунтування вибору варіанту застосування КТНУ в тепловій схемі котельні в м. Славута, представлено техніко-економічне обґрунтування застосування КТНУ для теплової схеми котельні в місті Славута. Визначено, що найбільш ефективним за енергетичними та економічними показниками є варіант застосування КТНУ в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні в м. Славута з використанням 40% потужності контактного утилізатора теплоти відхідних газів котельні в утилізаційному обладнанні та КТНУ. Для цього варіанту застосування КТНУ в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні в м. Славута буде забезпечуватись економія робочого палива в обсязі 26,67%, очікувана річна економія коштів на паливі становитиме 12,01 млн. грн./рік.

За обраним варіантом модернізації теплової схеми з встановленням КТНУ в тепловій схемі котельні було підібрано теплонасосне та когенераційне обладнання. Передбачено встановлення: газопоршневого двигуна-генератора марки ГДГА800 з номінальною потужністю електрогенератора 800 кВт виробництва ТДВ «Первомайськдизельмаш», теплового насоса марки НТ-1000, утилізатора теплоти відхідних газів котла (КТАН-утилізатора) марки КТАН-1,5УГ, насосів фірми GLONG.

Визначено, що у разі застосування обраного варіанту модернізації теплової схеми водогрійної котельні з КТНУ в м. Славута, будуть забезпечені енергоефективні та економічно обґрунтовані змінні режими роботи з комбінованим сезонним використанням низькотемпературної теплоти промислових та природних джерел: сезонна економія робочого палива котельнею з КТНУ буде змінюватись в межах 19,77...34,46%, річна економія робочого палива котельнею з КТНУ становитиме 26,67%.

Визначено, що у випадку застосування КТНУ в тепловій схемі котельні в місті Славута буде забезпечено зниження собівартості теплової енергії після модернізації теплової схеми та зниження експлуатаційних витрат на 2,57 млн. грн./рік. За результатами техніко-економічного аналізу визначено, що капіталовкладення в нове обладнання КТНУ становитимуть 9,98 млн. грн., термін окупності нового обладнання становитиме 3,88 року.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Остапенко О. П. Дослідження ефективності системи енергозабезпечення з когенераційно-теплонасосною установкою в тепловій схемі опалювальної водогрійної котельні в м. Славута / О. П. Остапенко, П. Д. Форсюк // Актуальні проблеми сучасної енергетики: Матеріали Третьої Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (23 – 25 травня 2018 р., Херсон). – Херсон: Херсонський національний технічний університет, 2018. – С. 54-56.

2. Остапенко О. П. Техніко-економічне обґрунтування застосування енергоефективної системи енергозабезпечення з когенераційно-теплонаосною установкою в теплової схемі опалювальної водогрійної котельні / О. П. Остапенко, П. Д. Форсюк // Збірник наукових матеріалів XXI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Літні наукові дискусії» (15 червня 2018 р., м. Вінниця). – Вінниця, 2018. – Частина 2. – Технічні науки. – С. 42 – 48.
3. Остапенко О. П. Дослідження енергоекономічної ефективності змінних режимів роботи систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонаосними установками з використанням теплоти промислових та природних джерел [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко, В. М. Портнов, П. Д. Форсюк // Наукові праці ВНТУ. – 2018. – № 2. – Режим доступу до журн.: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/549/533>. (Дата звертання 10.12.19).
4. Остапенко О. П. Підвищення енергоефективності теплової схеми котельні із застосуванням комбінованих когенераційно-теплонаосних установок / О. П. Остапенко, Ю. В. Панчук, П. Д. Форсюк // Наукове видання матеріалів регіональної науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (2 січня – 6 червня 2018 р., Вінниця). – Вінниця : ВНТУ, 2018. – С. 156 – 159.
5. Остапенко О. П. Ефективність застосування когенераційно-теплонаосних установок для теплопостачання / О. П. Остапенко, П. Д. Форсюк, М. С. Дзюбанчук // Університетська наука-2018 : в 3 т. : тез. доп. міжнар. наук.-техн. конф. (Маріуполь, 23-24 травня 2018 р.). – Маріуполь: ПДТУ, 2018. – Т. 1. – С. 264–266.
6. Остапенко О. П. Високоєфективні системи енергозабезпечення з когенераційно-теплонаосними установками: енергетичний, економічний та екологічний аспекти ефективності / О. П. Остапенко // Енергоефективність та енергозбереження: економічний, технічний та агроекологічний аспекти: [колективна монографія]. – Полтава: ПП Астроя, 2019. – С. 526 – 530.
7. Остапенко О. П. Енергетична ефективність систем енергозабезпечення на основі комбінованих когенераційно-теплонаосних установок та пікових джерел теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 1. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/462/460>. (Дата звертання 10.12.19).
8. Остапенко О. П. Енергоефективність систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонаосними установками та піковими джерелами теплоти в системах теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 2. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/472/470>. (Дата звертання 10.12.19).
9. Остапенко О. П. Области енергоефективної роботи систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонаосними установками та піковими джерелами теплоти [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016. – № 3. – Режим доступу до журн.: <http://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/479/478> (Дата звертання 10.12.19).
10. Остапенко О. П. Области високої енергоефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонаосними установками малої потужності та паливними котлами в системах теплопостачання [Електронний ресурс] / О. П. Остапенко // Наукові праці ВНТУ. – 2017. – № 1. – Режим доступу до журн.: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/499/496>. (Дата звертання 10.12.19).
11. Ostapenko O. P. Scientific basis of evaluation energy efficiency of heat pump plants: monograph / O. P. Ostapenko. – Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 64 p.
12. Остапенко О. П. Методичні основи з оцінювання енергоекономічної ефективності систем енергозабезпечення з когенераційно-теплонаосними установками та піковими джерелами теплоти / О. П. Остапенко // Наукові праці ОНАХТ.– 2017. – Т. 81. – Вип. 1. – С. 136 – 141.
13. Ostapenko O. P. 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 / O. P. Ostapenko // 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.
14. Ostapenko O. P. 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 / O. P. Ostapenko // 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.
15. Ostapenko O. P. Analysis of energy-economic efficiency of energy supply systems with cogeneration heat pump installations in industry and municipal heat power branch of Ukraine / O. P. Ostapenko, V. M. Portnov // Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Scientific and Practical conference «Imperatives of civil society development in promoting national competitiveness», Volume I, December 13 – 14, 2018, Batumi, Georgia, Publishing House «Kalmosani», 2018, p. 111 – 113.
16. Ostapenko O. P. Economical aspects of the efficiency of usage of energy supply systems with cogeneration heat pump installations of various power levels / O. P. Ostapenko, V. M. Portnov // Proceedings of the International Scientific conference «Eastern European Studies: Economics, Education and Law», Volume II, June 7 – 8, 2018, Burgas Free University, Burgas, Publishing House FLAT Ltd-Burgas, 2018, p. 60 – 62.

**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)

**Павло Дмитрович Форсюк** - студент групи ТЕ-18м, факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, 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)

**Pavlo D. Forsiuk** – Student of the Faculty of Civil Engineering, Heat Power Engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia