

DOI: 10.32347/2076-815X.2025.89.311-322

УДК 621, 662.614

Белюженко М.Б.,

n.beliuzhenko@gmail.com, ORCID: 0009-0005-4911-1654,

к.т.н., доц. Сенчук М.П.,

smp_21@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8968-7336,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА В СИСТЕМІ РЕЗЕРВУВАННЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Відмічено, що підвищення ефективності використання палива в енергетичному секторі України є ключовим завданням для зниження витрат на теплопостачання та покращення екологічної ситуації. Вирішення цієї проблеми розглянуто на прикладі застосування утилізації теплоти відхідних газів водогрійного теплогенератора на біопаливі потужністю 5,0 МВт як резервного джерела теплової енергії в системі теплопостачання, підключеного за комбінованою тепловою схемою в існуючу систему теплопостачання міста Луцька. Запропоновано застосування в системі утилізації теплоти теплогенератора конденсаційного економайзера, приєднаного до зворотного трубопроводу модернізованої теплової мережі. Наведено результати розрахункового аналізу експлуатаційних характеристик теплогенератора на біопаливі за різних режимів його роботи в опалювальний та літній періоди. Показано, що за технічної реалізації охолодження відхідних газів до температури нижче точки роси у порівнянні з варіантом за відсутності такого рішення, створює додаткові умови покращення експлуатації системи теплопостачання: з підігрівання зворотного теплоносія у зимовий період, забезпечення виробництва теплової енергії з підтриманням температури теплоносія не нижче мінімально допустимої за аварійної відсутності постачання природного газу, акумулювання теплової енергії у нічний час літнього періоду в об'ємі труб теплової мережі.

За реалізації проєкту впровадження глибокої утилізації відхідних газів теплогенератора на біопаливі, крім підвищення надійності і життєздатності системи теплопостачання міста, можна отримати додаткову економію природного газу більше ніж на 16 % протягом року експлуатації.

Ключові слова: теплогенератор на біопаливі; резервне джерело теплової енергії; утилізація теплоти відхідних з газів; конденсаційний економайзер.

Постановка проблеми. Теплопостачання населених пунктів із резервними джерелами теплової енергії на твердому паливі є поширеною практикою,

особливо в умовах загрози нестабільного постачання та аварійних відключень природного газу.

Важливою задачею для розвитку біоенергетики є забезпечення надійності у сфері забезпечення споживачів послугами з теплопостачання, забезпечення енергетичної незалежності та безпеки України шляхом збільшення частки використання альтернативних джерел енергії у виробництві теплової енергії до 40% у 2035 році [1].

В Україні спостерігається збільшення обсягів виробництва енергії з альтернативних видів палива, зокрема, з біомаси. Загалом, протягом 2022–2023 років в Україні введено понад 650 МВт нових потужностей відновлюваної енергетики, з яких 50 МВт – об'єкти біоенергетики (біомаса та біогаз), а також з урахуванням потенціалу ресурсів до 2050 року є перспективи для нарощення потужностей ТЕЦ та біоенергетичних установок - до 18 ГВт [2, 3].

Тому, підвищення ефективності використання біопалива в енергетичному секторі України є ключовим завданням для зниження витрат палива та підвищення екологічної ситуації [4].

Одним із перспективних та основних напрямків збільшення загального коефіцієнта корисної дії теплогенератора на біопаливі є утилізація теплоти відхідних газів за рахунок глибокого охолодження продуктів згорання. Теплоутилізаційні установки, що забезпечують охолодження відхідних газів до температури нижче точки роси, не лише утилізують теплоту, а й можуть виконувати функцію газоочисного обладнання, знижуючи викиди твердих частинок в атмосферу.

У статті викладені результати розрахункового аналізу перспективного застосування конденсаційного економайзера в системі з використанням теплогенератора на біопаливі потужністю 5,0 МВт фірми COMPT.E.R, що спалює деревну тріску. Конструкція теплогенератора передбачає механізацію всіх технологічних процесів спалювання сортового біопалива, а також систему автоматизації керування та безпеки. Крім того, забезпечується контроль екологічних показників та ефективності роботи відповідно до європейських вимог. Установка використовується у якості резервного джерела теплової енергії системи теплопостачання м. Луцька. [5].

Аналіз останніх публікацій і досліджень.

В Україні питання глибокої утилізації теплоти відхідних газів переважно досліджується та впроваджується для котельних, які працюють на природному газі [6–10].

На сьогоднішній день практика утилізації теплоти відхідних газів теплогенеруючих установок широко розповсюджена в прибалтійських, скандинавських та інших європейських країнах. Багато досліджень присвячено

вивченню, розробленню та впровадженню у виробництво високоефективних утилізаційних установок та конденсаційних котлів [11–20].

Дослідження показують, що застосування глибокої утилізації відхідних газів, зокрема конденсаційних економайзерів, дозволяє, крім забезпечення економії теплової енергії, виконувати функцію газоочищувального обладнання, знижуючи викиди твердих часток в атмосферу. Зокрема, дозволяє ефективно видаляти пилові частинки розміром у кілька мікрон та знизити вміст діоксиду сірки. Це досягається завдяки конденсації водяної пари, яка захоплює дрібнодисперсні частинки та сприяє розчиненню діоксиду сірки у воді, що значно знижує викиди в атмосферу [15].

Для захисту існуючих димових труб комунальних підприємств від корозійного руйнування досліджено різні методи, які спрямовані на запобігання конденсації та корозії всередині газовідвідних трактів. Одним із ефективних підходів є часткове байпасування гарячих димових газів в обхід економайзера [10].

Використання технології глибокої утилізації відхідних газів дозволяє підвищити ККД системи «теплогенератор на біопаливі – утилізатор» на 6-15%, що дозволяє заощадити витрату палива на 20-30% [13, 14].

Актуальність дослідження. В Україні актуальним на сьогодні є питання розробки та впровадження енергозберігаючих технологій у секторі виробництва теплової енергії з біомаси, що дозволить знизити рівень енергоспоживання на одиницю національного валового продукту та зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище. Зокрема, важливим напрямком є зниження втрат тепла з відхідними газами котельних та зменшення шкідливих викидів в атмосферу. Ефективність використання системи глибокої утилізації тепла з відхідними газами теплогенератора на біопаливі проаналізовано з метою економії природного газу в системі резервування теплопостачання населеного пункту.

Виклад основного матеріалу. При спалюванні біопалива у відхідних газах теплогенераторів утворюється значна кількість водяної пари, яка містить приховану теплоту. Ця теплота зазвичай втрачається разом із відхідними газами в навколишнє середовище, оскільки їх температурний рівень на виході теплогенератора за його нормованої роботи складає 100...140 °С. Підвищену ефективність утилізації теплоти газів досягають за їх значного охолодження до температури, значення якої нижче за температуру точки роси, та корисного використання теплоти конденсації водяної пари в системі теплопостачання.

Температура точки роси відхідних газів залежить від вмісту водяної пари, що утворюється під час спалювання палива. Залежність вмісту водяної пари в

відхідних газах при температурах конденсування, побудована за результатами проведеного аналізу, наведено на рис. 1.

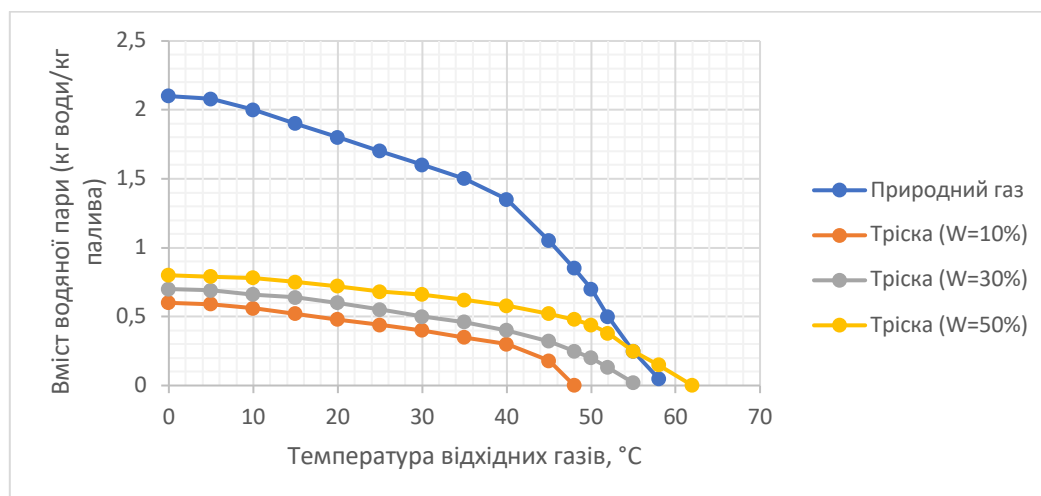


Рис. 1. Вміст водяної пари у відхідних газах залежно від температури та виду палива: W – вологість палива у відсотках

Утворення водяних парів для вологого біопалива та природного газу починається при низьких температурах відхідних газів нижче ніж 50...60 °C. Охолодження газів до такої температури потребує наявності охолоджувального потоку води з температурою нижче ніж 50 °C.

У системах централізованого теплопостачання для глибокої утилізації теплоти відхідних газів доцільно використовувати зворотний теплоносій теплових мереж, температура якого змінюється відповідно до робочого температурного графіка теплової мережі. Однак, високотемпературні графіки мереж обмежують ефективність таких теплоутилізаційних установок, оскільки температура зворотного теплоносія може бути недостатньо низькою для забезпечення конденсації водяної пари в відхідних газах. Це знижує потенціал рекуперації тепла та ефективність роботи конденсаційних економайзерів, яка суттєво залежить від температури холодної води на вході. Низька температура води на вході забезпечує значно більшу конденсацію відхідних газів і, отже, оптимальне використання цієї технології конденсації. Це може бути досягнуто шляхом модернізації теплових мереж та впровадження низькотемпературних систем опалення.

У роботі запропоновано схему підключення конденсаційного економайзера до зворотного трубопроводу теплової мережі (рис.2) існуючої модернізованої системи теплопостачання м. Луцька [5].

У період 2022-2025 рр. була проведена модернізація теплових мереж зі зниженням температурного графіку їх роботи до таких параметрів: у зимовий період – 75-55 °C, у літній період – 65-40 °C, у контурі біопаливного теплогенератора – 95-75 °C.

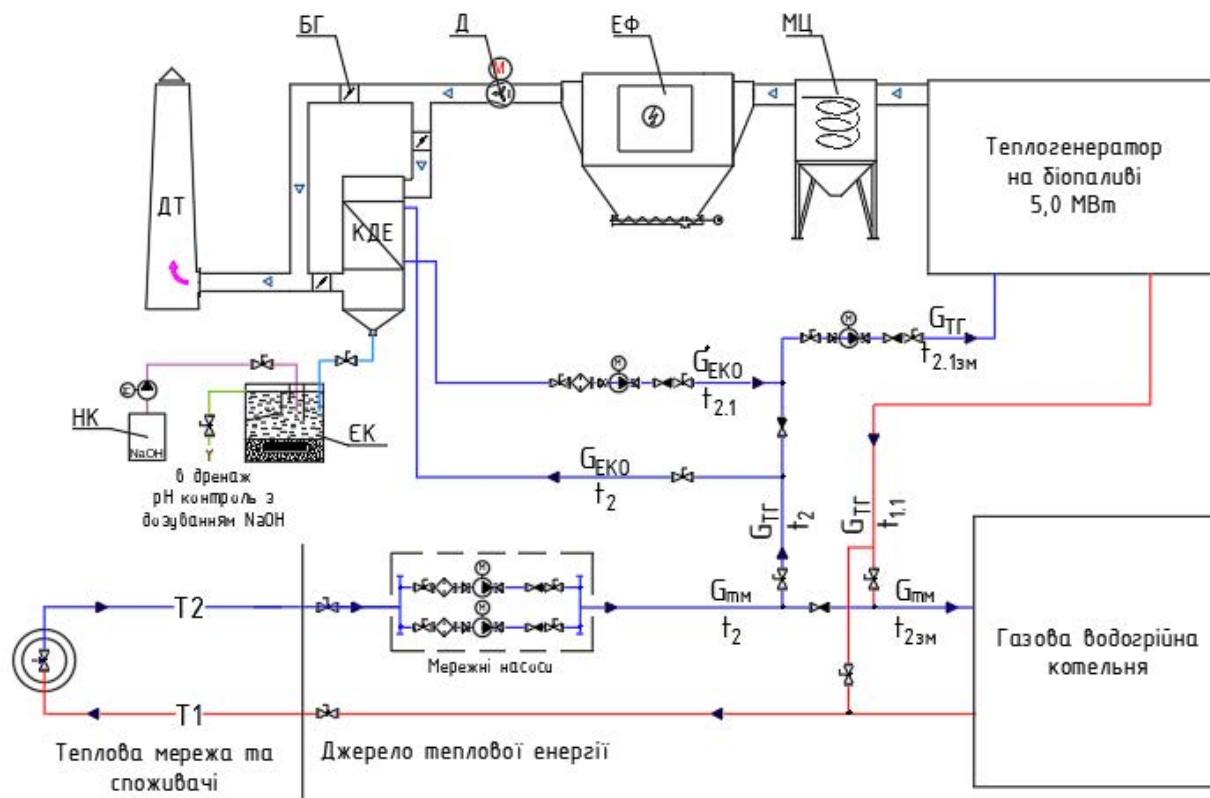


Рис. 2. Принципова схема підключення конденсаційного економайзера в існуючу схему тепlopостачання з резервним джерелом теплової енергії на біопаливі: Т₁, Т₂ – подавальний та зворотній трубопроводи теплової мережі; МЦ – мультициклон; ЕФ – електрофільтр; КДЕ – конденсаційний економайзер; Д – димосос; БГ – байпасний газохід; ДТ – димова труба; ЕК – ємність збору конденсату; НК – система нейтралізації конденсату

За результатами обстеження роботи котельні протягом вказаного періоду зафіксовано підвищення рівня зовнішніх температур повітря по відношенню до нормативних. Відповідно, фактична середня температура зворотного теплоносія в тепломережі за опалювальний період становила $t_2 \approx 45^\circ\text{C}$. Подача такого теплоносія на вхід конденсаційного економайзера дозволяє забезпечити високу ефективність утилізації теплоти відхідних газів.

Режими роботи існуючої комбінованої котельні наступний:

- в опалювальний період виконується комбіноване вироблення теплової енергії, теплогенератор на біопаливі працює сумісно з існуючими газовими водогрійними котлами ДКВР-20-13(в);
- в міжопалювальний період котельня працює лише на деревній трісці для забезпечення споживачів системи ГВП з перед підключенням до даного джерела теплової енергії інших споживачів міста.

Для аналізу прийнято за режимною картою роботи теплогенератора на біопаливі потужністю 5,0 МВт наступні експлуатаційні параметри: температура

відхідних газів на виході теплогенератора $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, коефіцієнт корисної дії теплогенератора 91% , масова витрата відхідних газів $3,89\text{ кг/с}$, відносна вологість деревної тріски $42\text{--}45\%$, надлишок кисню у відхідних газах $\text{O}_2 = 6\%$.

Теплогенератор на біопаливі працює в опалювальний період на постійному номінальному навантаженні, без змін робочих параметрів, та забезпечує підігрівання зворотного теплоносія в тепловій мережі на вході газових котлів на $4\text{...}5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5].

Проведено оцінку ефективності встановлення конденсаційного економайзера на даній котельні та на основі аналітичних даних побудовано графік залежності потенціалу рекуперації тепла відхідних газів при зміні температури води на вході в конденсаційний економайзер (рис.3).

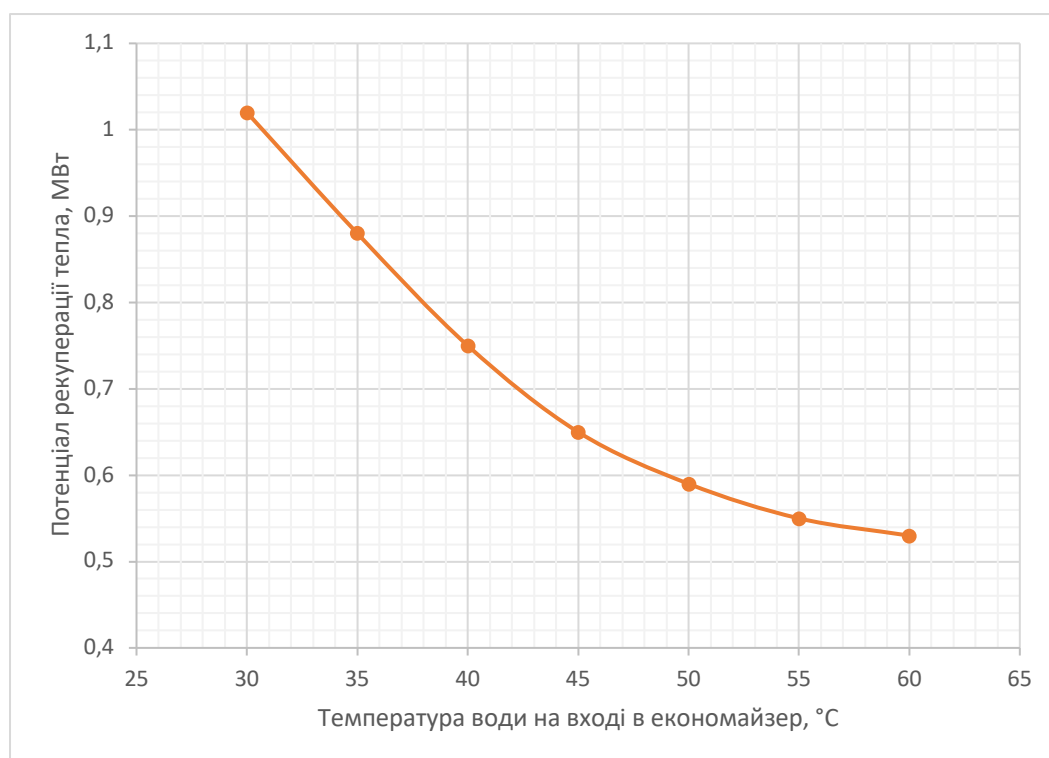


Рис. 3. Потенціал рекуперації тепла відхідних газів при різних температурах води на вході в економайзер

Як видно, при роботі за номінальної потужності теплогенератора теплова потужність конденсаційного економайзера зростає при зменшенні температури води на вході в економайзер. За температури теплоносія $t_2 \approx 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ у зворотному трубопроводі теплової мережі, а відповідно на вході в економайзер, можна отримати приховану теплову потужність до $0,65\text{ МВт}$.

У ході аналізу визначено, що при встановленні на діючій котельні конденсаційного економайзера температура відхідних газів буде знижена від $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $43\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким чином, забезпечується можливість додаткового підігріву зворотного теплоносія $t_{2\text{зм}}$ у тепловій мережі на вході в газові котли приблизно

на 2 °С, що, у свою чергу, призводить до економії природного газу в опалювальний період.

За даними усереднених показників роботи діючої комбінованої котельні [5] розраховано прогнозований комбінований обсяг виробництва теплової енергії (рис. 4) та виконано оцінку зменшення споживання природного газу за рахунок встановлення економайзера з глибокою утилізацією відхідних газів.

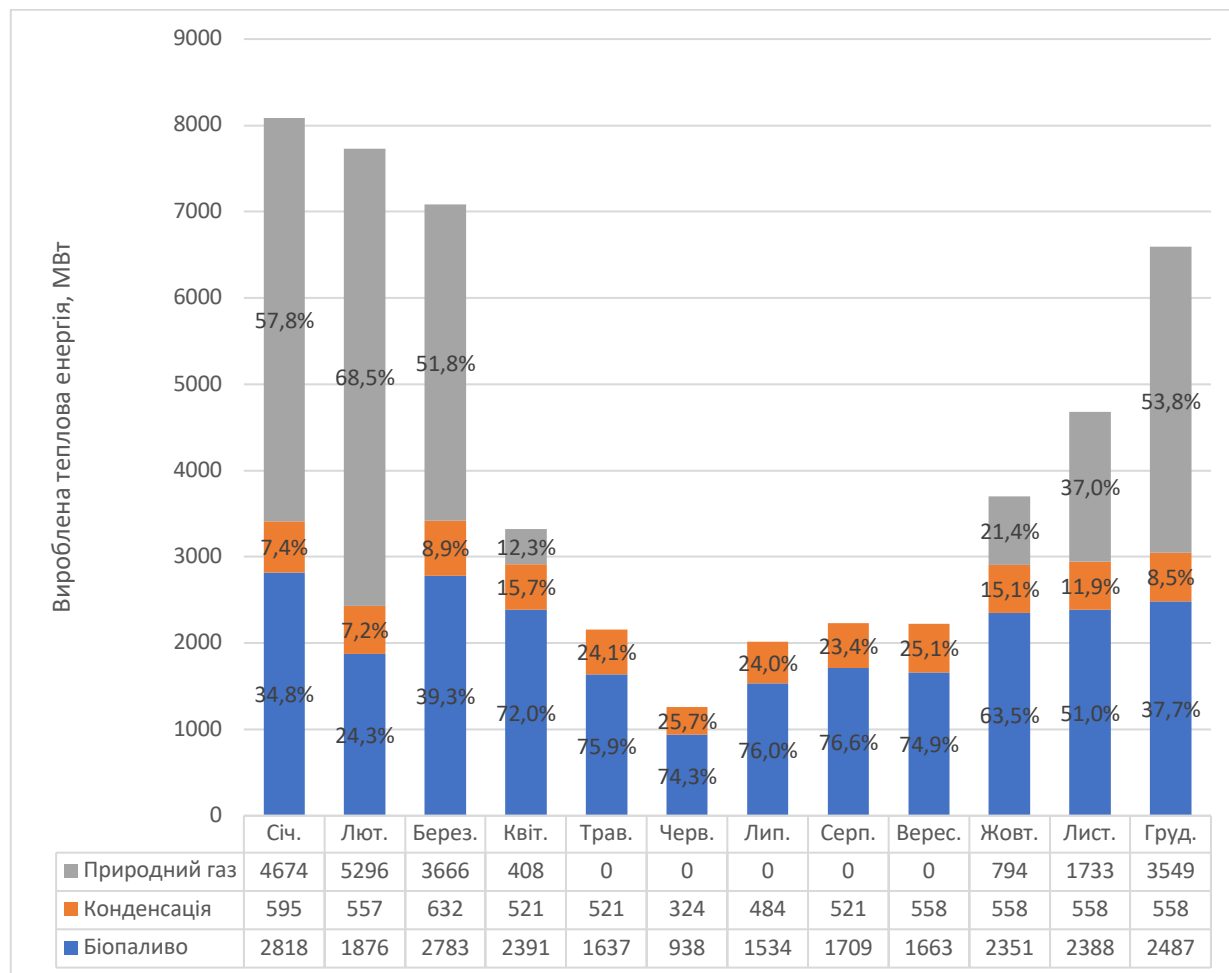


Рис. 4. Помісячний аналіз обсягу виробництва теплової енергії на діючій комбінованій котельні за перспективного впровадження конденсаційного економайзера

Згідно з наведеним аналізом на рис. 4 видно, що розрахункова економія теплової енергії за рахунок впровадження конденсаційного економайзера становить 6384 МВт/рік. Використання теплогенератора на біопаливі з утилізацією теплоти відхідних газів дозволяє значно підвищити ефективність системи теплозабезпечення, а саме:

- утилізація теплоти відхідних газів в опалювальний період зумовлює зниження споживання природного газу завдяки додатковому підігріванню теплоносія на вході газових котлів;

▪ в неопалювальний період, коли на систему гарячого водопостачання працює тільки теплогенератор на біопаливі, використання вторинного тепла підвищує коефіцієнт корисної дії установки зі зменшенням витрати біопалива.

Висновок

На підставі відомих досліджень та результатів впровадження глибокого охолодження газів на виході з джерел теплової енергії виконано аналіз роботи теплогенератора на біопаливі з утилізацією теплоти відхідних газів потужністю 5,0 МВт як резервного джерела теплопостачання в існуючій системі теплопостачання м. Луцька.

За перспективного впровадження конденсаційного економайзера в системі утилізації теплоти та очищення відхідних газів комбінованої котельні можна досягти економії споживання природного газу до 16 % в опалювальний період та біопалива до 25% в неопалювальний період.

Література

1. Концепція реалізації державної політики у сфері теплопостачання. Схвалено розпорядженням КМУ від 18.08.2017 № 569-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/569-2017-%D1%80#Text>.
2. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2023 р. № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text>.
3. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS_ua_last.pdf.
4. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#n9>.
5. Белюженко М.Б., Сенчук М.П. Резервування системи теплопостачання джерелами теплової енергії на біопаливі // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2024. – Вип. 48. – С. 6-20.
6. Навродська Р.О. Підвищення ефективності теплоутилізаційних технологій для котельних установок комунальної теплоенергетики // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – Вип.25.9. – С. 225-229.
7. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Степанова А.І., Навродська Р.О., Голубинський П.К., Новаківський М.О. Ефективність систем утилізації теплоти відхідних газів енергетичних установок різного типу // Промислова теплотехніка. - 2008. - № 3. - С. 68 - 76. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/61143>.

8. Фіалко Н.М., Пресіч Г.О., Гнедаш Г.О., Навродська Р.О., Новаківський М.О. Технологія утилізації теплоти димових газів з підвищеним вологовмістом для газоспоживальних котлів комунальної теплоенергетики // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". - 2018. - № 45. - С. 70-77. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vntuhpi_2018_45_11.
9. Єфімов О.В., Гончаренко О.Л. Математична модель системи "котел – теплоутилізатор" // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – 2010. - №21. С. 76-87.
10. Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Шевчук С.І., Пресіч Г.О., Гнедаш Г.О. Теплові методи захисту газовідвідних трактів котельних установок під час застосування теплоутилізаційних технологій // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Вип. 27 (6). – С. 125-130. DOI: <https://doi.org/10.15421/40270625>.
11. Оцінка роботи біоенергоблока ТЕЦ Шяуляй (Литва) при спалюванні деревного палива. URL: <https://ecopower-eu.com/otsinka-roboty-bioenerhobloka-tets-shiauliai-lytva-pry-paliuvanni-derevnoho-palyva/>.
12. Назарова І.О. Підвищення енергоекологічної ефективності біопаливних котелень // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2020. - Том 31 (70) № 4. – С. 149-154. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.4/21>.
13. Утилізація скидного тепла на установках, що використовують вологу біомасу як паливо. URL: <https://saf.org.ua/news/1892/>
14. Використання конденсаційних економайзерів на біопаливних котельнях. URL: <https://saf.org.ua/news/1888/>.
15. Butcher T.A., Litzke W.L., Schulze K., Bailey R. Condensing Economizer for Efficiency Improvement and Emissions Control in Industrial Boilers // Conferences. - 1996. URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/244535>.
16. Iliev. I., Terziev A., Beloev H. Condensing economizers for large scale steam boilers / E3S Web of Conferences Vol. 180, Art. №01004. – 2020. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018001004>.
17. Mohammadaliha N., Amani M., Bahrami M. Thermal performance of heat and water recovery systems: Role of condensing heat exchanger material // Cleaner Engineering and Technology Volume 1. – 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100024>.
18. Poškas R., Sirvydas A., Kulkovas V., Poškas P. An Experimental Investigation of Water Vapor Condensation from Biofuel Flue Gas in a Model of Condenser, (1) Base Case: Local Heat Transfer without Water Injection / Processes 2021, 9, 844. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr9050844>.
19. Poškas R., Sirvydas A., Kulkovas V., Jouhara H., Poškas P., Miliuskas G., Puida E. An Experimental Investigation of Water Vapor Condensation from

Biofuel Flue Gas in a Model of Condenser, (2) Local Heat Transfer in a Calorimetric Tube with Water Injection. Processes 2021, 9, 1310. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr9081310>.

20. Poškas R., Sirvydas A., Kulkovas V., Jouhara H., Poškas P., Miliauskas G., Puida E. Flue Gas Condensation in a Model of the Heat Exchanger: The Effect of the Cooling Water Flow Rate and Its Temperature on Local Heat Transfer / Appl. Sci. 2022, 12, 12650. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122412650>.

Post-graduate student, **Mykola Beliuzenko**,
PhD, associate professor, **Mykhailo Senchuk**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

INCREASING THE EFFICIENCY OF BIOFUEL USE IN THE HEAT SUPPLY BACKUP SYSTEM

It is noted that increasing the efficiency of fuel use in the energy sector of Ukraine is a key task for reducing heat supply costs and improving the environmental situation. The solution to this problem is considered through the example of the use of waste gas heat utilisation of a 5,0 MW biofuel water heat generator as a backup source of heat energy in the heat supply system, connected by a combined heat and power scheme to the existing heat supply system of the city of Lutsk. The use of a condensing economiser heat generator in a heat recovery system connected to the return pipeline of a modernised heating network is proposed. The results of the calculation analysis of the operational characteristics of the biofuel heat generator at different operating modes in the heating and summer periods are provided. It is shown that with the technical implementation of cooling the waste gases to a temperature below the dew point, compared to the option in the absence of such a solution, creates additional conditions for improving the operation of the heat supply system: with heating the return heat carrier in the winter period, ensuring the production of heat energy while maintaining the heat carrier temperature not lower than the minimum permissible in the event of emergency absence of natural gas supply, accumulating heat energy at night during summer period in the volume of the pipes of the heat network.

In addition to improving the reliability and viability of the city's heat supply system, the project for the implementation of deep utilisation of waste gases from a biofuel heat generator will result in additional natural gas savings of more than 16% during the year of operation.

Keywords: biofuel heat generator; backup source of heat energy; heat recovery from waste gases; condensing economizer.

REFERENCES

1. Kontseptsiiia realizatsii derzhavnoi polityky u sferi teplopostachannia. Skhvaleno rozporiadzhenniam KМУ vid 18.08.2017 № 569-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/569-2017-%D1%80#Text>. {in Ukrainian}
2. Pro skhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2050 roku. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 21 kvitnia 2023 r. № 373-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text>. {in Ukrainian}
3. Stratehiia nyzkovuhletsevoho rozvytku Ukrainy do 2050 roku. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS_ua_last.pdf
4. Pro zatverdzhennia Natsionalnoho planu dii z vidnovliuvanoi enerhetyky na period do 2030 roku ta planu zakhodiv z yoho vykonannia. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#n9>. {in Ukrainian}
5. Beliuzenko M.B., Senchuk M.P. Rezervuvannia systemy teplopostachannia dzherelamy teplovoi enerhii na biopalyvi // Ventyliatsiia, osvittennia ta teplohapostachannia: nauk.-tekhn. zb. – K.: KNUBA, 2024. – Vyp. 48. – S. 6-20. {in Ukrainian}
6. Navrodska R.O. Pidvyshchennia efektyvnosti teploutylizatsiinykh tekhnolohii dlia kotelnykh ustanovok komunalnoi teploenerhetyky // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. – 2015. – Vyp.25.9. – S.225-229. {in Ukrainian}
7. Fialko N.M., Sherenkovskiy Yu.V., Stepanova A.I., Navrodska R.O., Holubynskiy P.K., Novakivskiy M.O. Efektyvnist system utylizatsii teploty vidkhidnykh haziv enerhetychnykh ustanovok riznoho typu // Promyslova teplotekhnika. - 2008. - № 3. - S. 68 - 76. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/61143>. {in Russian}
8. Fialko N. M., Presich H. O., Hniedash H. O., Navrodska R. O., Novakivskiy M. O. Tekhnolohiia utylizatsii teploty dymovykh haziv z pidvyshchenym volohovmistom dlia hazospozhyvalnykh kotliv komunalnoi teploenerhetyky // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". - 2018. - № 45. - S. 70-77. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vntuhpi_2018_45_11. {in Ukrainian}
9. Iefimov O.V., Honcharenko O.L. Matematychna model systemy "kotel – teploutylizator" // Visnyk NTU "KhPI". Tematychnyi vypusk: Informatyka i modeliuvannia. – 2010. - №21. S.76-87. {in Russian}
10. Fialko N.M., Navrodska R.O., Shevchuk S.I., Presich H.O., Hniedash H.O. Teplovi metody zakhystu hazovidvidnykh traktiv kotelnykh ustanovok pid chas zastosuvannia teploutylizatsiinykh tekhnolohii // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. – 2017. – Vyp. 27 (6). – S. 125-130. DOI: <https://doi.org/10.15421/40270625>. {in Ukrainian}

11. Otsinka roboty bioenerhobloka TETs Shiauliai (Lytva) pry spaliuvani derevnoho palyva. URL: <https://ecopower-eu.com/otsinka-roboty-bioenerhobloka-tets-shiauliai-lytva-pry-paliuvanni-derevnoho-palyva/>. {in Ukrainian}
12. Nazarova I.O. Pidvyshchennia enerhoekolohichnoi efektyvnosti biopalyvnykh kotelen // Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriia: Tekhnichni nauky. – 2020. – Tom 31 (70) № 4. – S.149-154. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.4/21>. {in Ukrainian}
13. Utylizatsiia skydnoho tepla na ustanovkakh, shcho vykorystovuiut volohu biomasu yak palyvo. URL: <https://saf.org.ua/news/1892/>. {in Ukrainian}
14. Vykorystannia kondensatsiinykh ekonomazeriv na biopalyvnykh kotelniakh. URL: <https://saf.org.ua/news/1888/>. {in Ukrainian}
15. Butcher T.A., Litzke W.L., Schulze K., Bailey R. Condensing Economizer for Efficiency Improvement and Emissions Control in Industrial Boilers // Conferences. - 1996. URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/244535>. {in English}
16. Iliev. I., Terziev A., Beloev H. Condensing economizers for large scale steam boilers / E3S Web of Conferences Vol. 180, Art. №01004. – 2020. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018001004>. {in English}
17. Mohammadaliha N., Amani M., Bahrami M. Thermal performance of heat and water recovery systems: Role of condensing heat exchanger material // Cleaner Engineering and Technology Volume 1. – 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100024>. {in English}
18. Poškas R., Sirvydas A., Kulkovas V., Poškas P. An Experimental Investigation of Water Vapor Condensation from Biofuel Flue Gas in a Model of Condenser, (1) Base Case: Local Heat Transfer without Water Injection / Processes 2021, 9, 844. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr9050844>. {in English}
19. Poškas R., Sirvydas A., Kulkovas V., Jouhara H., Poškas P., Miliauskas G., Puida E. An Experimental Investigation of Water Vapor Condensation from Biofuel Flue Gas in a Model of Condenser, (2) Local Heat Transfer in a Calorimetric Tube with Water Injection. Processes 2021, 9, 1310. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr9081310>. {in English}
20. Poškas R., Sirvydas A., Kulkovas V., Jouhara H., Poškas P., Miliauskas G., Puida E. Flue Gas Condensation in a Model of the Heat Exchanger: The Effect of the Cooling Water Flow Rate and Its Temperature on Local Heat Transfer / Appl. Sci. 2022, 12, 12650. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122412650>. {in English}