



# ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

Київ-2024

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД ТА ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ  
ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ  
ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ  
ВСЕУКРАЇНСЬКА ЕНЕРГЕТИЧНА АСАМБЛЕЯ  
КОНСОРЦІУМ З РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

# **ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ**

*Збірник праць*

*За редакцією  
кандидата технічних наук  
О. І. Сігала*

КИЇВ  
ІВЦ АЛКОН  
2024

*Редакційна колегія:*

*канд. тех. наук О. І. Сігал,  
канд. тех. наук Н. Ю. Павлюк,  
канд. фіз.-мат. наук Д. Ю. Падерно*

**Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики :**

П 78 Збірник праць / за ред. к.т.н. О. І. Сігала ; Інститут промислової екології. – Київ : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2024. – 220 с.  
ISBN 978-966-8449-72-7

В збірнику розміщені праці учасників XXXIII Міжнародної онлайн-конференції «Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики» (20–21 грудня 2023 року, м. Київ), а також інші статті, надіслані до оргкомітету фахівцями галузі.

Статті присвячені загальним проблемам розподіленої генерації, шляхам скорочення споживання природного газу та заміщення його іншими видами палива в комунальній теплоенергетиці, відновлення та експлуатації об'єктів промислової і муніципальної енергетики, сучасним екологічно чистішим та енергозберігаючим технологіям спалювання палив, концепції декарбонізації в комунальній теплоенергетиці, енергозбереженню в комунальній теплоенергетиці, екологічним проблемам енергетики, зменшенню забруднення навколишнього середовища і зниженню викидів парникових газів енергооб'єктами відповідно до вимог Директив ЄС, процесам управління твердими побутовими відходами.

**УДК 504.03+620.9**

## З М І С Т

<b>Сігал О. І.</b> ДОСЯЖНА ДЛЯ УКРАЇНИ КОНЦЕПЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ.....	9
<b>Фіалко Н. М., Тимченко М. П., Шеренковський Ю. В.</b> СУЧАСНЕ ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ: БЕЗПЕКА ЕНЕРГЕТИЧНА, ЕКОЛОГІЧНА ЧИ КЛІМАТИЧНА?.....	12
<b>Нікітін Є. Є.</b> ТРАНСФОРМАЦІЯ ІСНУЮЧИХ ГАЗОВИХ КОТЕЛЕНЬ В СТІЙКІ БАЛАНСУЮЧІ ЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ.....	20
<b>Риженко І. Є., Гуля О. М.</b> ВІДНОВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ШЛЯХОМ ПЕРЕВЕДЕННЯ ВУГЛЬНИХ КОТЛІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ І ТЕЦ НА СПАЛЮВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ....	23
<b>Снежкін Ю. Ф., Уланов М. М.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ТЕПЛОВИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ В НАСЛІДОК ВИПАРОВУВАННЯ ВОДИ НА ІСНУЮЧИХ СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ .....	28
<b>Буйнявичус К., Янчаускас А., Пуйда Е.</b> РЕЗУЛЬТАТИ ВНЕДРЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРЕДЕЛЬНО НИЗКОГО ИЗБЫТКА ВОЗДУХА В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ .....	33
<b>Poget Jean-Luc.</b> THE INVESTMENT MECHANISM IN THE CITY'S ENERGY INFRASTRUCTURE ON THE EXAMPLE OF TERNOPIL.....	36
<b>Кобзар С. Г., Гапонич Л. С.</b> ВПЛИВ ПІДВИЩЕНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ КИСНЮ В ДУТТЬОВОМУ ПОВІТРІ НА ПРОЦЕС СПІЛЬНОГО СПАЛЮВАННЯ SRF З МЕТАНОМ В ТОПЦІ КОТЛА КВГМ 20.....	39
<b>Сігал І. Я., Сміхула А. В., Марасін О. В., Домбровська Е. П., Горбунов О. В., Дяченко М. О.</b> ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАМІЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ БІОГАЗОМ В ІСНУЮЧИХ ПАРОВИХ ТА ВОДОГРІЙНИХ КОТЛАХ ...	46
<b>Климчук О. А., Позднякова Г. І.</b> МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ У ПОВОСННИЙ ПЕРІОД .....	50



<b>Сігал О. І., Падерно Д. Ю., Ніжник Н. А.</b> НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА КОВЕЛЬ.....	53
<b>Сігал О. І., Падерно Д. Ю., Ніжник Н. А., Рогожин Д. В.</b> ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО РОЗВИТКУ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА ЖИТОМИРА.....	56
<b>Сігал О. І., Падерно Д. Ю., Ніжник Н. А.</b> НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА ЧЕРКАСИ .....	61
<b>Сігал О. І., Падерно Д. Ю., Позднякова Г. І.</b> ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОДЖЕРЕЛ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА ОДЕСИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ .....	65
<b>Лужанська Г. В., Сергєєв І. В., Ткачов О. А., Конон А. Ю., Шилов Д. О., Харламова А. О.</b> ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ .....	68
<b>Бикоріз Є. Й., Плашихін С. В., Маєра Ю. М., Селіванов В. І.</b> ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ .....	71
<b>Маляренко О. Є., Іваненко Н. П., Горський В. В., Євтухова Т. О., Коберник В. С.</b> МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ ЗІ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРУ .....	76
<b>Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Гнедаш Г. О., Шевчук С. І., Сбродова Г. О.</b> ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕКОЛОГОЕФЕКТИВНИХ ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОТЛІВ.....	80
<b>Ніжник Н. А., Бикоріз Є. Й., Плашихін С. В., Маєра Ю. М., Селіванов В. І.</b> МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ НА ОБ'ЄКТАХ ЕНЕРГЕТИКИ.....	84
<b>Сігал О. І., Ніжник Н. А.</b> ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ СПАЛЮВАННЯ МЕТАНУ ПРИ ДОДАВАННІ РОЗЧИНІВ ПЕРЕКИСУ ВОДНЮ .....	88

<b>Фіалко Н. М., Меранова Н. О., Шеренковський Ю. В., Кліш А. В., Альошко С. О., Прокопов В. Г., Абдулін М. З., Полозенко Н. П., Кутняк О. М., Ольховська Н. М.</b> ЗАКОНОМІРНОСТІ ТЕЧІЇ В ПАЛЬНИКАХ З ТРИРЯДНОЮ ПАЛИВОПОДАЧЕЮ .....	91
<b>Фіалко Н. М., Степанова А. І., Навродська Р. О., Меранова Н. О., Шевчук С. І., Сбродова Г. О.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ В КОМБІНОВАНІЙ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ .....	98
<b>Фіалко Н. М., Степанова А. І., Навродська Р. О., Меранова Н. О., Шевчук С. І., Сбродова Г. О.</b> АНАЛІЗ ЕКСЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ .....	103
<b>Бикоріз Є. Й., Плашихін С. В., Магєра Ю. М., Чернокрилюк В. В., Селіванов В. І.</b> ОЦІНКА РЕНТАБЕЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРИ СПАЛЮВАННІ ОРГАНІЧНИХ ПАЛИВ .....	107
<b>Фіалко Н. М., Кузьменко І. М., Шеренковський Ю. В.</b> ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОДИНАМІКИ КОНТАКТНИХ АПАРАТІВ ПРОТИТОКОВОГО ТИПУ .....	114
<b>Колієнко А. Г.</b> ДО ПИТАННЯ ПРО ВЕЛИЧИНУ ПРИЄДНАНОГО ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ БУДИНКІВ – СПОЖИВАЧІВ ТЕПЛОТИ .....	118
<b>Тарадай О. М., Гвоздецький О. В., Дяченко С. В.</b> СУЧАСНІ КВАРТИРНІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ .....	122
<b>Сатін І. В., Панченко О. С., Ситніченко М. В.</b> УЗАГАЛЬНЕННЯ ВІТЧИЗНЯНОЇ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ ТА СВІТОВОГО ДОСВІДУ ЩОДО ПРИЙМАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ СТІЧНИХ ВОД ДО СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ СТІЧНИХ ВОД НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ .....	129
<b>Колтик О. Т., Сатін І. В., Панченко О. С., Фляшовський В. А.</b> РОЗРОБЛЕННЯ НАУКОВО-ОБҐРУНТОВАНИХ МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ВІД РУЙНУВАНЬ .....	132

<b>Сігал О. І., Павлюк Н. Ю.</b> СВІТОВИЙ ДОСВІД УМОВ ТА ВАРТОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТЕРМІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ .....	135
<b>Падерно Д. Ю., Павлюк Н. Ю.</b> ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА З ВІДХОДІВ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ .....	141
<b>Падерно Д. Ю.</b> ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАЛУЧЕННЯ ДОСВІДУ ПОЛЬЩІ ЩОДО ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА З ВІДХОДІВ ДЛЯ УКРАЇНИ.....	145
<b>Фіалко Н. М., Гнедаш Г. О., Шевчук С. І., Новаківський М. О., Глушак О. Ю.</b> ПОВІТРОГРІЙНЕ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК.....	151
<b>Фіалко Н. М., Щепетов В. В., Сбродова Г. О., Шевчук С. І., Новаківський М. О.</b> АНТИКОРОЗІЙНЕ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРІВ СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК.....	155
<b>Павлюк Н. Ю.</b> ПІДХОДИ ЄС ДО ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ВІДХОДІВ ПАКОВАННЯ ТА ДЕЯКОЇ ПЛАСТИКОВОЇ ПРОДУКЦІЇ.....	158
<b>Мірошниченко Є. С.</b> СТВОРЕННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ КОГЕНЕРАЦІЇ НА ОСНОВІ МІСЦЕВИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ .....	164
<b>Козлов І. Л., Ковальчук В. І., Лисак М. В., Козлов О. І.</b> РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА ВИХОДУ ЗАБРУДНЕНЬ БЛОКУ SMR У РЕЖИМІ НОРМАЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	168
<b>Кремньов В. О., Беляєв Г. В., Беляєва І. П., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г., Тимошенко А. В.</b> ЛІСІВНИЦТВО І ЕНЕРГЕТИКА – ЛІСГОСП ЯК ДЖЕРЕЛО ПАЛИВНИХ РЕСУРСІВ.....	172
<b>Кремньов В. О., Беляєв Г. В., Беляєва І. П., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г., Тимошенко А. В.</b> ЛІСІВНИЦТВО І ЕНЕРГЕТИКА – ЕКОНОМІЧНІ ФОРМИ ДЕРЕВНОГО ПАЛИВА ДЛЯ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ ОБ’ЄКТІВ .....	176

<b>Фіалко Н. М., Дінжос Р. В., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Юрчук В. Л., Хміль Д. П., Федосенко Л. П., Малецька О. Є., Чехаровська М. І., Дашковська І. Л.</b> ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МІКРО- І НАНОКОМПОЗИТИВ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	180
--	-----

<b>Ляшенко А. В., Беляєв Г. В., Беляєва І. П.</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ТРІСКИ ПАЛИВНОЇ З ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ У ФІКСОВАНОМУ ШАРІ.....	188
---	-----

### ***НА ПРАВАХ РЕКЛАМИ***

• КОМПАНІЯ З РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ.....	192
• МОДУЛЬ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛА «МАГТ 198».....	193
• МОНОГРАФІЯ «ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА ОДЕСИ».....	196
• РОБОТИ, ЯКІ ВИКОНУЄ ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ.....	197
• КОТЕЛ ВОДОГРІЙНИЙ ВОДОТРУБНИЙ, ПРАЦЮЮЧИЙ НА ПРИРОДНОМУ ГАЗІ НИЗЬКОГО ТИСКУ, ТЕПЛОПРОДУКТИВНІСТЮ 2,0 МВт (КВВД-2,0 Гн).....	200
• КОТЕЛ ВОДОГРІЙНИЙ ВОДОТРУБНО-ДИМОГАРНИЙ ТЕПЛОПРОДУКТИВНІСТЮ 0,63 МВт (КВВД-0,63 Гн).....	201
• УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ І ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ КОТЛАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТАКТНОЇ КОМБІНОВАНОЇ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ.....	203
• МОДЕРНІЗОВАНІ ПОДОВІ ПАЛЬНИКИ ТИПУ МПІГ ДЛЯ КОТЛІВ ПРОДУКТИВНІСТЮ ДО 10 Гкал/год.....	205
• ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТОПКОВОГО ТЕПЛООБМІНУ В КОТЛАХ ШЛЯХОМ ВСТАНОВЛЕННЯ ВТОРИННИХ (ПРОМІЖНИХ) ВИПРОМІНЮВАЧІВ.....	207
• РЕЦИРКУЛЯЦІЯ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ.....	209
• МОДЕРНІЗАЦІЯ КОТЛІВ ПТВМ-50.....	210
• ЕКОНОМІЯ ГАЗУ ТА ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ КОТЛІВ ТВГ-8, ТВГ-8М, КВГ-7,56.....	212

- ПЕРЕОБЛАДНАННЯ ІСНУЮЧИХ ПАЛЬНИКІВ КОТЛІВ  
ТИПУ ДЕ ТА ДКВР З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТИ  
ПРИРОДНОГО ГАЗУ (ОСОБЛИВО В ОСІННЬО-ВЕСНЯНИЙ  
ПЕРІОД) ..... 213
- КОНДЕНСАЦІЙНИЙ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОР УТКП-0,7.  
КОНТАКТНА КОМБІНОВАНА ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНА  
УСТАНОВКА ..... 214
- ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ РІДКОГО ПАЛИВА НА ВЛАСНІ ПОТРЕБИ  
КОТЕЛЬНІ ЗА РАХУНОК ПІДГРІВУ ПАЛИВА ДИМОВИМИ  
ГАЗАМИ ..... 216
- ВІДЦЕНТРОВИЙ ФІЛЬТР ..... 217
- ВИПРОБУВАЛЬНА ЛАБОРАТОРІЯ ІТТФ НАН УКРАЇНИ ..... 219

## **ДОСЯЖНА ДЛЯ УКРАЇНИ КОНЦЕПЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ**

З втрачених 9 ГВт балансуєчої генерації нам, щоб перестати бути енергетичними жебраками, потрібно швидко повернути хоча б 2 ГВт, а в осяжній перспективі до 4 ГВт.

На жаль вважаю, що будівництво 2 енергоблоків Хмельницької АЕС це досить не швидка та вельми сумнівна перспектива. Причина – гроші, технології та час.

Розвиток когенерації, який до речі, всіляко підтримую, як саме швидке з рішень, не зможе задовольнити необхідну потужність. Так за 2 роки введено біля 200 МВт когенераційних машин з яких експлуатується не більше 10. Якщо додати, що більшість з них даровані і розуміти, що подарунки не безкінечні, а нам потрібно біля 4000 машин середньою потужністю в 1 МВт, то до «Президентського ГВт» ми будемо іти ще не один рік.

Поки що підтримуючи цю ініціативу ми зробили декілька реальних кроків для її реалізації. Так, наприклад, усвідомлюючи, що відсутній досвід у аналізі, виборі розташування, проектуванні, монтажі, налагодженні та введенні в експлуатацію когенераційного обладнання ми створили на базі Інституту технічної теплофізики НАН України консорціум підприємств «Розподілена генерація».

До складу об'єднання увійшли підприємства, що мають досвід у визначенні необхідного типу когенераційного обладнання (паровий котел та парова турбіна, парогазовий цикл, газова турбіна, газопоршнева машина, обладнання обв'язки та ін.), проектуванні (підключення газу, електрики, тепломережі, створення контурів охолодження, будівельні роботи, шумозахист та ін.), вибір та закупівля обладнання, страхування та доставка в Україну, підготовка майданчика, заливка фундаментів (антивібраційних) та встановлення машин, обв'язка згідно проекту, включно з електричною частиною і вихідною групою для підключення до мережі, чотирма контурами теплообміну, насосами, ГРП чи ГРС та під'єднанням до теплових мереж. По закінченні монтажних робіт і процедур узгодження та «здачі» обладнання починається про-

цедура введення у експлуатацію включно з вирішенням екологічних проблем.

Якщо нам навіть подарують ще 500 машин, інші 3,5 тисячі нам доведеться купувати за кошти громад. Держава навряд чи допоможе з огляду на хронічну нестачу коштів і складність отримання значних запозичень останнім часом. Нагадаю, що мова іде про 3,5–4 млрд \$ США. Концепція ж розподіленої генерації в громадах звісно приваблює, але навряд чи мешканці 5–6 багатопверхівок зможуть скинутися на півмільйона доларів, чи підуть закладати своє майно під такий кредит.

То що ж можливо зробити? Якщо поглянути на енергетичну ситуацію у Європі, то зрозуміло, що на тлі енергоощадних технологій експоненційного збільшення обсягів «зеленої» генерації профіцит, електрики зростає і необхідність у її збереженні теж зростає буквально по місяцям.

Аналізуючи технології збереження енергії бачимо, що довгострокове зберігання можливо та доцільно на базі електролізу води та отримання водню. Але подальше зберігання та транспортування водню пов'язане з необхідністю створення окремої і дуже дорогої інфраструктури. Навіть у вигляді аміаку можливо транспортувати і зберігати таку обмежену кількість енергії, яка не співставна з потребою європейської енергетики. Тож ці проекти, поки, можуть бути лише пілотними.

Значно цікавішим є технологія орієнтована на виробництво з водню та CO<sub>2</sub> штучного метану, бо вся інфраструктура під цей продукт вже існує. Так у цьому році завершився німецький стартап Turn2X, що побудував у Іспанії завод з вироблення синтетичного метану із зеленого водню та CO<sub>2</sub>. Вони ще у 2018 році почали будувати пілотний завод у Німеччині вартістю 28 млн €. Зараз існує 2 заводи в Німеччині та Іспанії, що використовують електролізери потужністю 2 МВт. Цікаво, що Німеччина отримала на свій проект 18 млн € гранту, а завод в Іспанії був побудований вже без державної допомоги. Такий завод може бути навіть економічно доцільним при вартості енергії у Європі на рівні 60–70 €/МВт·год.

Звісно виробництво енергії за такою ціною ще довго не буде цікавим для України, але використання Української газової інфраструктури як елементу загальноєвропейської системи зберігання та транспортування енергії можна розглянути як перспективу.

Слід додати, що тільки ця технологія придатна для забезпечення зберігання пікової енергії Євросоюзу, обсяг якої можна оцінити у 40 ГВт·год/рік, що становить біля 10% електрики, що виробляють країни ЄС.

Навіть з ККД 50% Європа отримає 2,5 млрд м<sup>3</sup> штучного «зеленого» метану та по цій же схемі біля 1 млрд м<sup>3</sup> біометану та синтетичного метану, що може бути вироблений в Україні з біогазу та поживних решток біомаси.

Якщо брати виробництво електрики у ЄС (2022 р.) за 10 167 333 ТДж чи 2 824 259 ГВт·год (2824 ТГВт·год), а пікові потужності: звести до 10%, тобто до 282,4 ТВт·год, то після електролізу та металізації з ККД 50% отримаємо біля 141 ТВт·год у вигляді близько 15,2 млрд м<sup>3</sup> метану. Цей обсяг становить до 40% пропускну здатності системи транспортування газу у ЄС, але обсяг електричного перетину необхідно значно збільшити.

Зробимо гіпотетичне припущення, що ЄС з якихось міркувань визнав доцільним організацію системи зберігання енергії в Україні. Звісно нашим власникам мереж прийдеться переглянути свої «хотелки» цін на транспортування. Тоді, як системна, постає задача підвищення ефективності такої схеми, та оцінка обсягів необхідної води. Підвищення ефективності можливе за рахунок зменшення якості металізації, тобто при проскоку ~ 10% Н<sub>2</sub> і СО<sub>2</sub> що не прореагували та за рахунок використання якоїсь частини кисню, що утворився при електролізі. Звісно, жодна технологія, де 89% маси утвореного продукту, а це при електролізі кисень, буде викидатися не може розглядатися як ефективна.

Саме тому ми почали вивчати технології, де доцільно використання кисню. Окрім всім відомих металургійних технологій використання яких досить проблематично, зважаючи на розташування металургійного комплексу на східній Україні, цін на декарбонізовану енергію в близькому майбутньому, та введення СВАМ, як механізму вирівнювання ціни з урахуванням вуглецевого сліду, намагалися уявити інше використання кисню у продуктах, що не експортуються та можуть бути використані на внутрішньому ринку.

Саме таким продуктом є енергія з штучного пального, яке вироблене з твердих побутових відходів – RDF.

Ми вже багато писали про використання RDF та SRF палив для отримання теплової та електричної енергії [1–3], так що зупинимось тільки на використанні кисню у цьому процесі. Додавання кисню у дуттєве повітря до збільшення відсотку з 19,6–20,8% до 25,5–34% призводить до підвищення реальної температури в топковій камері з 650–700 °С до 1500–1600 °С і, відповідно, забезпечує не тільки не утворення діоксинів і фуранів (більше 850), а і розкладання сполук, що містять



сірку та хлор (більше 1100 °С). Зупинимося на тому, що вказані температури не інтегральні, тобто, якщо в топковій камері залишаться хоча б декілька локальних зон з нижчою температурою, саме вони і працюють нахшталт реакторів з вироблення відповідних токсичних сполук. Тому зрозуміло, що інтегральні, тобто вимірювані температури повинні бути на 10–15% вищими і складати понад 1300 °С.

В ІТТФ НАНУ підготовлений експериментальний стенд та будуть найближчим часом проведені декілька серій експериментів що, до ефективності горіння ТБО та палив з них з додаванням різної кількості кисню з домішками, що притаманні технології отримання кисню шляхом електролізу води.

Сподіваємося, що економіка процесу з урахуванням використання кисню зацікавить потенційних партнерів і зробить нашу Країну більш привабливою для енергетичних інвестицій, які зараз дуже потрібні.

### **Список використаної літератури**

1. Oleksandr Sigal, Nonna Pavliuk, Sergii Plashykhin. Zastąpienie gazu ziemnego RDF-emw systemach ciepłownictwa Ukrainy // Ogólnopolski miesięcznik „Energia i Recykling”. 2024. № 6. P. 20–23.

2. Oleksandr Sigal, Nonna Pavliuk. Odpady komunalne jako paliwo dla ciepłownictwa systemowego Ukrainy // Ogólnopolski miesięcznik „Energia i Recykling”. 2024. № 1. P. 22–24.

3. Павлюк Н. Ю., Сігал О. І. Перспективи використання RDG палива в Україні // Теплофізика та теплоенергетика. 2019. № 5. С. 59.

УДК 536.24:533

**Н. М. Фіалко, М. П. Тимченко, Ю. В. Шеренковський**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **СУЧАСНЕ ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ: БЕЗПЕКА ЕНЕРГЕТИЧНА, ЕКОЛОГІЧНА ЧИ КЛІМАТИЧНА?**

В 70-х роках двадцятого століття більша частина фахівців, виходячи з даних тогочасних об'єктивних вимірів параметрів кліматичної системи Землі (КСЗ) та результатів аналізу відповідних модельних

уявленнь, прогнозувала закінчення у найближчій перспективі інтергліacialного періоду і продовження поточного четвертинного періоду зледеніння у форматі наступного гляціалу. Тобто тодішньою загальною думкою більшості кліматологів було те, що КСЗ вже перебуває на порозі посилення режиму характерного для льодовикового періоду і у подальшому поточний клімат буде змінюватися в напрямі глобального похолодання з наростанням існуючих льодовикових покривів Антарктики, Гренландії та Арктики. Передбачалося, що найбільш вірогідними причинами цього тренду стануть зовнішні фактори, головним чином адитивні циклічні зміни орбіти Землі відповідно з теорією М. Міланковича [1, 2].

Але насправді в останні приблизно 50 років основною тенденцією зміни клімату Землі став феномен сучасного глобального потепління (СГП). Наразі орбітальні властивості Землі, як кліматоутворювальні чинники, відійшли на другий план у порівнянні з сумарним радіаційним форсингом (РФо), інтенсивність якого в постіндустріальну епоху кратно зростає. В утворенні РФо ключова роль належить парниковим газам (ПГ), основними агентами серед яких є  $\text{CO}_2$  та  $\text{CH}_4$  антропогенного походження [3].

Стрімкий (у масштабах геологічного часу) перехід КСЗ з очікуваного режиму похолодання на протилежний режим СГП потребує аналізу поведінки КСЗ у режимах, які гарантують безпечну людську життєдіяльність та умови для досягнення суспільством цілей сталого розвитку (ЦСР). Отже наразі набуває актуальності постановка завдань кліматичної безпеки (КЛБ).

**1. Поняття безпеки.** Найпростішим і найбільш універсальним способом визначати «безпеку» – це скористатися антонімічним, інтуїтивно зрозумілим, прийомом: «Безпека» – це відсутність «небезпеки» («вразливості», «загрози», «ризик»). Звернення до словників підтверджує цю думку. Так, Оксфордський словник [4] визначає «безпеку» як «стан бути вільним від небезпеки чи загрози» (“a state of being free from danger or threat”).

Отже при інклюзивному підході термін «небезпека» включає технічні, технологічні, соціальні, політичні, геополітичні та інші, у тому числі багатоаспектні (багатовимірні) множини, які утворюються великою кількістю тематичних, галузевих, профільних, родових і тому подібних термінів-показників. Наприклад, у вузькому сенсі виділяють безпеку енергетичну, екологічну, економічну, макроекономічну, фінансову, технічну, фізичну, продовольчу, виробничу, праці, інвестиційну,

демографічну, соціальну, конфесійну, расову, гендерну, етнічну, лікарняну, санітарну, епідеміологічну, ресурсну, водну, інформаційну, кібернетичну, ядерну тощо.

На основі компаративного аналізу запропонована така авторська [5] дефініція. Безпека це: відсутність загроз в усіх сферах життя, що сприяє сталому людському розвитку і залежить від рівня правової культури, свідомості та відповідальності кожного члена громади, досягнення якої можливо шляхом взаємодії органів публічної влади з громадянським суспільством та збільшення кількості превентивних заходів.

Вітчизняний підхід щодо забезпечення безпеки (на рівні національної безпеки) стосовно умов та інтересів України, був закріплений в «Стратегії Національної безпеки України» (СНБУ). Під загальним (наднаціональним) визначенням поняттям «безпека» будемо розуміти (авторська дефініція [7–9]) стан системи, який гарантує (відповідно з ЦСР) захист життєво важливих інтересів як окремого громадянина, так і суспільних інституцій (від громадських і бізнесових до державних організацій та установ, їх міжурядових органів та міжнародних асоціацій).

**2. Енергетична безпека.** Найбільш вживана дефініція енергетичної безпеки (ЕнБ), яка була розроблена в рамках Міжнародної енергетичної Агенції [6]. ЕнБ – це безперебійна наявність джерел енергії за доступною ціною» («the uninterrupted availability of energy sources at an affordable price»).

Енергетичну безпеку розширювально можна трактувати як складову безпеки енергозабезпечення, яка за ознакою «джерельна база» (первинні енергетичні ресурси – ПЕР) пройшла триетапну еволюцію. На першому її етапі використовувалися паливні ресурси «примітивної» («первісної») біоенергетики (наприклад, деревина, деревне вугілля); на другому – викопні палива (вугілля, вуглеводні – нафта, нафтопродукти, природний газ), матеріали, що розщеплюються (наприклад, збіднений уран), в обмеженій мірі – ВДЕ тощо. На третьому етапі домінуючим ресурсом поступово (орієнтовно до 2050 року) стають ВДЕ. Вірогідно, на той час ВДЕ майже повністю витиснуть традиційні ПЕР з енергетичного балансу кінцевого споживання енергії. У ланцюгу змін видів ПЕР спостерігається тісний зв'язок між змінами енергоресурсної бази та етапів технологічних укладів (технологічного розвитку) – доіндустріального, індустріального та сучасного постіндустріального<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Останній уклад іноді називають «інформаційним», щоб підкреслити його всебічну і повсюдну цифровізацію.

Концепціям безпеки енергозабезпечення, як і видам ПЕР, також притаманна зміна пріоритетів у часі. Очевидно, що часовий розподіл появи і зміни пріоритетів безпеки близький до порядку зміни технологічних укладів, які також супроводжуються майже синхронною зміною базових ПЕР. Зокрема, трьом послідовно змінившим один одного технологічним укладам – індустріальному, постіндустріальному та сучасному приблизно синхронно відповідає розповсюдженість пріоритетів та практик безпеки.

На індустріальному етапі критичною умовою розвитку економіки був ступінь і масштаби її індустріалізації, а значить – енергозабезпеченості, тобто – стан енергетичної безпеки (ЕнБ). Графіки зростання світової економіки, економіки США, інших розвинутих країн та виробництва енергії у той час були еквідистантними. Але досить швидко визначилося, по-перше, що границі зростання економіки ресурсного типу обмежені. Причинами цього вичерпування енергоресурсів та випереджаюче зростання цін на ПЕР на фоні безперервного зростання населення Землі та вимог до якості життя. По-друге, антропогенне навантаження на навколишнє середовище (НС) внаслідок зростання ВВП стало перевищувати адаптаційні властивості НС і негативно відбиватися на якості життя людини. Інтенсивність порушень екологічної рівноваги у біосфері наблизилося до критичних значень.

**3. Екологічна безпека (ЕколБ) та енергетичний перехід.** Наступним аспектом ЕнБ стала боротьба суспільства (людських систем) за екологічну чистоту виробництва і споживання енергії. З плином часу, на другому етапі цивілізаційного розвитку пріоритетною стала екологічна безпека, що привело до помітних змін у світовій економіці, особливо радикально у сфері її інноваційної політики. У розвинутих країнах зініціювалася боротьба за декаплінг зростання ВВП і енергоспоживання. До того ж вже у кінці 70-х років двадцятого століття було діагностовано таке явище як глобальне потепління, а емісія CO<sub>2</sub> при спалюванні вуглецевої тріади почала визнаватися як основний чинник СГП. У 1992 році була підписана РКЗК (Рамкова конвенція ООН про зміну клімату – UN FCCC) – міжнародна кліматична угода про спільну боротьбу з наслідками небезпечного втручання людини в природні системи. Саме емісія CO<sub>2</sub>, його комітмент (вміст накопиченого в атмосфері довгоживучого ПГ CO<sub>2</sub> як результат його інтенсивної емісії і затриманого вилучення) стали головними причинами глобальної зміни клімату у вигляді СГП. В рамках концепції ЕколБ виникла ідея *Energiewende* – енергетичного переходу (заміщення викопних енергоресурсів чистими відновлюваними). *Energiewende* у теперішній час

став головним інструментом декарбонізації енергетики зокрема і економіки у цілому. Поступово у дилемі «ЕнБ» VS «ЕколБ» ведучі економіки світу здійснили вибір на користь ВДЕ як базових джерел енергії і у подальшому прогресі зробили ставку на екологічну безпеку.

**4. Особливості кліматичної безпеки у поточний час.** У наш час відбувається трансформація світової економіки в кліматично нейтральну сферу господарської діяльності (виробництва, розподілу, споживання товарів і послуг). У багатьох розвинутих країнах та їх асоціація відповідна вимога вже набула статус юридично зафіксованого пріоритету КЛБ. ЄС, кандидатом-членом якого є Україна, на сьогоднішній час перетворився на очевидного світового лідера у просуванні ідеї побудови кліматично-нейтральної цивілізації. Для цього розроблено юридично зобов'язуючий корпус документів, відомий як «Європейський зелений курс» («The European Green Deal»). Він містить пакети законодавчих актів (Директиви), відповідні технічні та нормативні регламенти та низку підзаконних актів, які в рамках безальтернативного (тобто кліматично-нейтрального) напрямку розвитку сучасної економіки необхідні для втілення *Net zero* енергетики, промислового та аграрного виробництв, транспорту, сектора споживання. Отже, всього через 9 років після підписання Паризької угоди (2015 р.) порядок денний ЕколБ фактично був поглинений контентом кліматичної безпеки. Для виконання вимог КЛБ в ЄС створено спеціалізовані фонди, виділено великі фінанси, інноваційні кредити, запущено механізми економічного примушення для повсюдного енергетичного переходу.

КЛБ реалізується виключно в умовах людських систем (ЛюС). Часто термін ЛюС є синонімом суспільства чи соціальної системи. До ЛюС входять сільськогосподарські, міські, технологічні, політичні, економічні, системи в загальноприйнятому значенні. Якщо для природних систем (або фізичного компонента земної системи) суттєвим є екологічна безпека (безпека навколишнього середовища – *environment*), то для ЛюС, згідно визначенню AR6, границі дослідження КЛБ суттєво розширюються. Сферами вразливості вважаються не тільки власне людина, а ще і її інституції. Останні утворюють безперервно еволюціонуючі соціально-політичні системи, установам яких належить провідна роль в гарантуванні КЛБ. Крім того, гарантування КЛБ вищевказаних ЛюС є прикладом своєрідного «одушевлення» фізичного компонента системи Землі. Природні екологічні системи в умовах не втручання людини і незалежно від її діяльності існували за механізмом саморегулювання у відповідь на збурення та дії кліматичних чинників.

До проблематики КЛБ у першу чергу мають увійти питання адаптації та пом'якшення клімату у випадку його небажаної зміни, у другу чергу – геоінженерне управління кліматом. Наприклад, СГП розглядається як небажаний режим КСЗ, коректування якого здійснюється через активне втручання людини шляхом зменшення емісії або збільшення поглинання ПГ. Але також небажаними вважаються режими малих або великих похолодань, які очікуються (наприклад, з 2030 року), або вже спостерігалися. На існування великих чи малих зледенінь в масштабах геологічної історії вказують численні проксі-дані. Деякі похолодання з дуже важкими наслідками відбувалися порівняно недавно і були зафіксовані в писемних джерелах або історичних хроніках.

Важлива особливість КЛБ полягає у її антропоцентризмі. Це пов'язане по-перше, з антропогенним характером СГП, тобто з причинами, які викликали дане потепління. По-друге, питання про бажаний тепловий стан КСЗ у рамках геоінженерного підходу, має ставитися і вирішуватися з позицій корисності для ЛюС. Різноманітність ЛюС ускладнює постановку задач управління кліматом. Оскільки єдиної думки щодо оптимального стану КСЗ поки що не вироблено, то метою (цілепокладанням) управління КЛБ є, по-перше, захист «життєве важливого ядра людського життя...», по-друге, забезпечення умов, «коли люди мають свободу та можливість жити з гідністю. У контексті зміни клімату життєве важливе ядро людського життя включає універсальні та культурно специфічні, матеріальні та нематеріальні елементи, необхідні людям для того, щоб діяти від імені своїх інтересів і жити з гідністю» [10].

Важливим, але майже недослідженим питанням залишаються кількісні параметри допустимих, можливо, – бажаних параметрів глобального потепління, наприклад, аномалії середньої температури Землі. Віддаленим прикладом можуть слугувати уявлення про так звані кліматичні оптимуми, хоча їх інтерпретація залишається дискусійною. Втім, як і оцінки, одержані лауреатом Нобелівської премії з економіки (2018) В. Нордхаузом при розрахунках балансу негативних і, можливо, позитивних наслідків СГП. У своїх дослідженнях В. Нордхауз, звісно, не міг враховувати результати останніх «Оціночних звітів» МГЕЗК (AR5, AR6), зокрема, спиратися на SSPs – шляхи соціально-економічного розвитку – та їх інтеграцію з RCP (репрезентативні шляхи концентрації CO<sub>2</sub>), на яких базується сучасне моделювання клімату.

Оцінюючі в цілому ситуацію з КЛБ, слід зазначити, що в останні роки ризики кліматичної небезпеки зростали особливо швидко. За даними ВМО концентрація ПГ (ключового чинника СГП) останнім часом кожно-

го року сягала нових рекордних значень. У 2022 році вона вперше на 50% перевищила рівень доіндустріальної епохи. У 2023 році, як і у першій половині поточного (2024) року, концентрація ПГ продовжила зростати.

Відповідно зростала середня температура поверхні Землі  $\Delta t_{\text{аном}}^{\text{сеп}}$ , як один з головних параметрів стану КСЗ. В межах кожного 5-річного інтервалу вимірювань середньорічна температура  $\Delta t_{\text{аном}}^{\text{сеп}}$  сягала рекордних значень. Згідно з даними дослідного центру Berkely Earth глобальна середня температура червня 2024 року стала найвищою температурою цього місяця з початку інструментальних вимірювань (з 1850 р.) і досягла величини  $\Delta t_{\text{аном}}^{\text{сеп}} = 1,60 \pm 0,09$  °С. Тобто  $\Delta t_{\text{аном}}^{\text{сеп}}$  перевищила 1,5 °С – поріг, обумовлений Паризькою угодою. Однак як відомо обмеження 1,5 °С стосується довгострокових значень температури. Тим не менш, ЛюС одержала сигнал – якщо найближчим часом не буде досягнуто кардинального зниження емісії ПГ, КСЗ перейде у стан, який характеризується підвищеними показниками екстремальних погодних явищ. «Нормою» стануть сильні спеки, опади, повені, зменшення площі і об'єму кріосфери тощо. Щодо останнього показника, то тут підвищується вірогідність дії позитивного зворотного зв'язку, а відтак виникає загроза так званих *tipping points*. Відповідно спостерігатиметься прискорена трансгресія океану та його закислення. При цьому соціально-економічні та екологічні втрати можуть набагато перевищувати витрати на їх запобігання. Наразі актуальним завданням є розвиток економіки сучасного глобального потепління в контексті циклічних змін теплових режимів потепління/похолодань КСЗ.

### Висновки

1. Виконано аналіз триетапної еволюції концепції безпеки енергозабезпечення, яка протягом останніх 50 років змінювалася від енергетичної до екологічної і далі до кліматичної безпеки. При цьому:
  - відмічається, що вказані етапи еволюції виділяються за ознакою «джерельна база» (первинні енергоресурси). Першому етапу – енергетичній безпеці, відповідають паливні ресурси «первісної» біоенергетики, другому – екологічній безпеці, – викопні палива, матеріали, що розщеплюються, та обмежено ВДЕ, третьому – кліматичній безпеці, – поступово, домінуючим чином ВДЕ;
  - вказується на те, що зміна в часі зазначених пріоритетів безпеки близька до порядку зміни технологічних укладів від індустріального до постіндустріального та сучасного.
2. Розглянуто особливості пріоритетів та практик енергетичної, екологічної та кліматичної безпеки. Зокрема:

- виконано аналіз енергетичної безпеки як критичної умови розвитку економіки на індустріальному етапі; вказується на досить швидке порушення на даному етапі екологічної рівноваги у біосфері, що спричинилося вичерпанням енергоресурсів та зростанням антропогенного навантаження на навколишнє середовище;
- розглянуто особливості трансформації екологічної безпеки на другому етапі цивілізаційного розвитку та її впливу на світову економіку в контексті боротьби за екологічну чистоту виробництва і споживання енергії; акцентується увага на виникненні в рамках концепції екологічної безпеки ідеї «енергетичного» переходу, що наразі є головним інструментом декарбонізації енергетики і економіки в цілому;
- висвітлено особливості кліматичної безпеки в контексті сучасного глобального потепління; відмічається яскраво виражений «антропоцентризм» концепції кліматичної безпеки, тобто акцент на врахування вразливості власне людини і її інституцій; вказується на необхідність поглиблених досліджень кліматичної безпеки щодо моделювання балансу негативних і можливо позитивних наслідків змін клімату в обох напрямках циклів глобальних потеплень/похолодань.

Наведений в статті матеріал може буде корисним при розробленні сучасної енергетичної політики України, та прийнятті на всіх рівнях інноваційних і техніко-економічних рішень стосовно умов та реалій країни в рамках сучасної енергокліматичної політики ЄС.

### **Список використаної літератури**

1. Berger A. Loutre MF. Climate: An exceptionally long interglacial ahead? *Science*. 297 (5585): 1287–8. (2002). doi:10.1126/science.1076120. PMID 12193773. S2CID 128923481.
2. Ganopolski A., Winkelmann R. & Schellnhuber H. Critical insolation – CO<sub>2</sub> relation for diagnosing past and future glacial inception // *Nature*. 2016. 529. P. 200–203. <https://doi.org/10.1038/nature16494>.
3. IPCC, 2023: Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. P. 35–115. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
4. Security. <https://www.oxfordreference.com/search?q=security&searchBtn=Search&isQuickSearch=true> (дата звернення 29.07.2024).
5. Федорова А. М. Компаративний аналіз дефініції «безпека» // *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 11/2018. С. 144–148.



6. Defining energy security / IEA. URL: <https://www.iaea.org/topics/energysecurity/whatisenergysecurity/> (дата звернення 26.07.2024).

7. Халатов А. А., Фіалко Н. М., Тимченко М. П. Енергетична безпека України: методологічні засади оцінки рівня безпеки та порівняльний аналіз поточного стану // Теплофізика та теплоенергетика. 2020. Т. 42, № 2. С. 18–30. <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2020.2>.

8. Фіалко Н. М., Тимченко М. П. Енергокліматична безпека і системи енергозабезпечення житлового сектору // EcoComfort 2022: Proceedings of EcoComfort 2022. 2022. Р. 76–82. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_8).

9. Халатов А., Фіалко Н., Тимченко М. Кліматична безпека: особливості поведінки аномалії глобальної середньої температури поверхні Землі // Теплофізика та теплоенергетика. 2023. 48(1). С. 5–13. <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2023.1>.

10. IPCC, 2022: Annex II: Glossary [Möller V., R. van Diemen, J.B.R. Matthews, C. Méndez, S. Semenov, J. S. Fuglestvedt, A. Reisinger (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. P. 2897–2930, doi:10.1017/9781009325844.029.

11. Nordhaus William D. To Slow or Not to Slow: The Economics of The Greenhouse Effect // The Economic Journal. 1991. Vol. 101, Issue 407. P. 920–937, <https://doi.org/10.2307/2233864>.

12. Nordhaus William. Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics // American Economic Review, American Economic Association. 2019. Vol. 109(6). P. 1991–2014.

УДК 536.24:533

**Є. Є. Нікітін**

*Інститут газу НАН України, м. Київ*

## **ТРАНСФОРМАЦІЯ ІСНУЮЧИХ ГАЗОВИХ КОТЕЛЕНЬ В СТІЙКІ БАЛАНСУЮЧІ ЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ**

Базисом централізованого постачання України є газові котельні, а основним видом палива – природний газ. Газові котельні виробляють біля 80% теплової енергії в системах централізованого тепlopостачання (ЦТ) населених пунктів України.

Відповідно до світових тенденцій декарбонізації та міжнародних зобов'язань України частка викопного палива, у тому числі і природного газу, повинна поступово скорочувати. У цій ситуації розробка плану поступової трансформації існуючих газових котелень ЦТ є дуже актуальним та невідкладним завданням.

Одинична потужність існуючих газових котелень різниться від 1 до 100 МВт та більше. Загальна кількість цих котелень складає біля 11 тисяч. Але більше 60% теплової енергії виробляється на великих котельнях потужність більше 20 МВт, кількість яких складає біля 400 одиниць. Тому першочерговим завданням є розробка плану трансформації саме цих газових котелень.

Основна проблема полягає у тому що більше 80% котлів цих котелень має термін експлуатації більше 15 років. Це стосується також і теплових мереж цих котелень. Інша проблема полягає у тому, що приєднана теплова потужність на гаряче водопостачання у цих котельнях складає тільки 7% від загальної встановленої потужності, що суттєво знижує річний коефіцієнт завантаження генеруючого обладнання та інвестиційну привабливість впровадження сучасного капіталомісткого енергоефективного обладнання. Таким чином модернізація котелень потужність  $\geq 20$  МВт це ні тільки екологічне та економічне питання, але і питання подальшого існування централізованого опалення та гарячого водопостачання в Україні. Процес трансформації ЦТ України повинен починатися саме з великих газових котелень у комплексі з приєднаними до них тепловими мережами.

План трансформації газових котелень (ПТГК) повинен бути спрямований не тільки на декарбонізацію і енергетичну ефективність, але і на підвищення стійкості теплозабезпеченням в умовах постійної військово-політичної напруженості, що не дозволяє виключити ситуації тимчасової непридатності окремих котелень, та переривання електро- та газопостачання.

Основним концептуальним положенням плану трансформації існуючих газових котелень є перспективне бачення домінуючої ролі відновлювальних джерел енергії і перш за все мінливої сонячної та вітрової енергії, та розуміння того що ці джерела енергії не можуть цілком забезпечити споживачів електричної та теплової енергією без засобів акумулювання енергії. В цих умовах природний газ та наявність розгалуженої газотранспортної системи слід розглядати не тільки як паливну систему, но як інструмент балансування національної енергетичної системи в якій повинна спостерігатися постійне зростання мінливої

сонячної та вітрової генерації. Безумовно, це концептуальне бачення перехідного періоду, на протези якого системи акумулювання електричної енергії будуть удосконалюватися та становитися більш доступними з техніко-економічної точки зору.

Спираючись на вищевикладене, ПТГК повинен включати такі напрямки роботи та проекти:

- Комплексний підхід що до модернізації теплових джерел та мереж з врахуванням перспектив термомодернізації підключених до будівель.
- Проведення біля 400 енергетичних аудитів газових котелень потужністю  $\geq 20$  МВт та підключених до них теплових мереж. Складання ранжируваного за пріоритетністю виконання робіт по модернізації переліку котелень.
- Розробка проектів відновлення систем централізованого гарячого водопостачання та вивчення потенціалу впровадження систем централізованого холодопостачання з метою забезпечення можливості підвищення коефіцієнту використання встановленої потужності нового капіталомісткого енергоефективного обладнання.
- Часткове заміщення встановлених потужностей застарілих газових котлів потужностям малих когенераційних установок. Забезпечення оптимальних режимів роботи когенераційних установок за електричним графіком роботи шляхом використання газових котлів, електричних котлів та теплових акумуляторів у якості балансуєчих потужностей.
- Вивчення потенціалу та розробка проектів заміщення теплової енергії від газових котлів скидної теплової енергії, сонячної теплової енергією, тепловою енергією оточуючого середовища з використанням теплових насосів, тепловою енергією від біопаливних котлів.
- Створення на котельнях систем резервного палива, у якості якого може бути використано LPG або стиснений природний газ.

Розробка ПТГК не є альтернативою розробки схем теплозабезпечення населених пунктів України, передбачених існуючими законодавством. Навпаки, ПТГК може розглядатися як частина розробки схеми теплопостачання населеного пункту, яка повинна бути реалізована на першому етапі.

## **ВІДНОВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ШЛЯХОМ ПЕРЕВЕДЕННЯ ВУГІЛЬНИХ КОТЛІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ І ТЕЦ НА СПАЛЮВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ**

25 червня 2024 року Урядом України ухвалено «Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року» (надалі – НПЕК), який є стратегічним документом спрямованим на узгодження екологічної, енергетичної та кліматичної політики для забезпечення сталого розвитку та відновлення економіки країни. НПЕК розроблений з урахуванням найкращих практик країн-членів ЄС відповідно до вимог Регламенту (ЄС) 2018/1999 та враховує необхідність виконання.

Основними балансуєчими потужностями в Енергосистемі України є вугільні котли енергоблоків теплових електростанцій і теплоцентралей, які значною мірою пошкоджені, внаслідок численних руйнувань об'єктів енергетики від обстрілів країни-агресора. Це призвело до значного дефіциту електричної енергії, через що гостро стоять завдання по екстремому відновленню теплових електростанцій, які до нинішнього часу виконують ключову роль у забезпеченні електричною енергією промисловості та побутових споживачів. Сучасні параметри вугільних енергоблоків визначають доцільність їх відновлення та модернізації відповідно до стратегічних напрямків визначених у НПЕК, спрямованих на забезпечення розвитку та відновлення енергосистеми України.

Програма, НПЕК розроблена за декількома напрямками, у яких і здійснюється відповідна політика з реалізації визначених заходів. До цих напрямків відносяться: Декарбонізація; Енергоефективність; Енергетична безпека; Внутрішній енергоринок: електроенергія, газ (у тому числі біометан та водень). Після укладання у 2014 році Угоди про асоціацію з ЄС, слідом за європейськими партнерами Україна бере на себе все більш амбітні зобов'язання з переходу на безвуглецеву енергетику.

Основу теплової енергетики України складають 14 вугільних ТЕС на яких встановлено наступне тепломеханічне устаткування:

- енергоблоки 150 МВт з котлоагрегатами високого тиску:
  - ТП-90 – 4 одиниці;
  - ТП-92 – 2 одиниці;
- енергоблоки 200 МВт з котлоагрегатами високого тиску:
  - ТП-100 – 36 одиниць;
  - ТП-109 – 7 одиниць;
- енергоблоки 300 МВт з котлоагрегатами надкритичного тиску:
  - П-50 – 4 одиниці;
  - ТПП-210 та ТПП-210А – 14 одиниць;
  - ТПП-312 та ТПП-312А – 18 одиниць;
  - ТПП-200-1 – 1 одиниця.

Крім того на території України працюють 7 регіональних вугільних теплоцентралей із встановленим котельним устаткуванням високого та середнього тиску близько 25 котлів та об'єкти промислової теплоенергетики і муніципальні теплоцентралі.

Група компаній «Котлотурбопром» (Харків) має унікальний досвід впровадження під час військових дій проектів по забезпеченню роботи критичної інфраструктури в енергетиці.

В частині інжинірингових робіт для успішного відновлення електростанцій, теплоцентралей та котельних, ФХЦКБ «Енергопрогрес» ТОВ «Котлотурбопром» (далі ХЦКБ) має значні напрацювання з модернізації енергетичних парових та водогрійних котлів із одночасним підвищенням техніко-економічних показників і скорочення шкідливих викидів оксидів азоту і вуглецю відповідно до вимог Європейських норм та «Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок», а саме:

- Розроблено та впроваджено концепцію переозброєння ТЕС із збереженням будівельної інфраструктури котельного відділення та створення на базі застарілих котлів, які потребують великомасштабних ресурсних заміन, сучасних котлів з покращеними техніко-економічними та екологічними показниками. Концепцію успішно апробовано на котлах ТП-80 та ТП-87 у складі енергетичних об'єктів Міненерго СРСР, а також ТП-100, ТПП-210 ТПП-210 А, ТПП-312, ТПП-312А та ін., в структурі енергокомпаній України.
- За проектами ХЦКБ були переведені на роботу на природному газі та мазуті 145 вугільних котлоагрегатів продуктивністю від 75 до 500 т/год (ЦКТИ-75-36Ф, ТП-11, ТП-35, ТП-80, ТП-87, ТП-170, ТП-170-1, ТП-230, ПК-10, ПК-19, БКЗ-160, БКЗ-210-140-ФЖШ, БКЗ-320-140ПТ, 57СП-220-100).

- Удосконалення топочно-палинкових пристроїв, поверхонь нагріву та гідравлічних схем газомазутних та пиловугільних котлів впроваджено більш ніж на 20 типах котлів високого тиску паропродуктивністю 120–670 т/год, на 5 типах котлів надкритичного тиску паропродуктивністю 950–2650 т/год та на 5 типах водогрійних котлів теплопродуктивністю 30–180 Гкал/год. Роботи впроваджено на 455 котлах різних ТЕС та ТЕЦ.
- Оптимізацію режимів спалювання палив на пиловугільних та газомазутних котлах з метою зменшення викидів оксидів азоту впроваджено на 80 котлах паропродуктивністю від 75 до 3950 т/год.
- Розроблено серію палинкових пристроїв, захищених авторськими свідоцтвами, а також методології їхнього розрахунку для котлоагрегатів паропродуктивністю від 75 до 2650 т/год та теплопродуктивністю 30–180 Гкал/год.

В Україні, як і в світі, ще як мінімум 20 років (до 2050 року) будуть паралельно існувати дві системи виробництва енергії – з відновлюваних джерел та з викопних палив, в тому числі для забезпечення регулювання потужності. Продовження ресурсу та ефективне використання наявних потужностей електростанцій та теплоцентралей, в тому числі на природному газі, забезпечить стабільне енерго- і теплозабезпечення в перехідному періоді технічного переозброєння енергетичної галузі в напрямку декарбонізації та потребуватиме значно менше капіталовкладень, ніж нове будівництво енергоустановок та/або додаткових електричних і газових мереж на заміну теплових, що дозволить обмежити зростання тарифів на електроенергію і тепло.

Саме такі проекти призвані забезпечити в Україні виконання в повному обсязі Національного плану з енергетики та клімату на період до 2030 року та приєднання нашої країни до Європейського співтовариства. Саме такі завдання, включаючи конструкторські розробки з модернізації основного котлотурбінного обладнання теплових електростанцій, виготовлення та монтажу вузлів та елементів парових і водогрійних котлів та розробки проектно-кошторисної документації, комплексно виконує ТОВ «Котлотурбопром».

**Таким чином, вважаємо за доцільне, наразі спільно з будівництвом нових об'єктів розподіленої теплової генерації, що працюють на відновлюваних видах палива, ініціювати розробку та впровадження «Програми відновлення об'єктів критичної інфраструктури», які працюють на вугільному паливі, з переведенням їх на спалювання природного газу, із застосуванням можливостей та**

**напрацювань Філіалу Харківське ЦКБ ТОВ «Котлотурбопром» для найшвидшого відновлення генерації електроенергії існуючими електростанціями з досягненням номінальної потужності та зниження викидів у навколишнє середовище.**

Прикладом є розроблений ХЦКБ Технічний проект встановлення енергетичного парового котлоагрегату Е-160-7,0-500Г (паропродуктивністю 160 т/год) в існуючій комірці вугільного котла фірми MANN (110 т/год) для Проекту відновлення Харківської ТЕЦ-3 у складі КП «Харківські теплові мережі».

Враховуючи багаторічний досвід ХЦКБ по успішному переведенню енергетичних вугільних котлоагрегатів на роботу з використанням природного газу та з урахуванням проведеного аналізу конструкцій існуючих вугільних котлів ТЕС та ТЕЦ (ТПП-312, ТПП-312А, П-50, ТПП-210, ТПП-210А, ТП-100, ТП-100А, ТП-109, ТП-90, ТП-92, ТП-87 та низки вугільних котлів малої паропродуктивності) повідомляємо, що ці котли можуть бути переведені на спалювання природного газу.

Для найшвидшого відновлення генерації електроенергії існуючими станціями України, можуть бути розглянуті варіанти з мінімальними витратами, варіанти з досягненням номінальної продуктивності або близької до номінальної та варіанти з досягненням прийнятних екологічних показників.

На вугільних котлах ТЕС та ТЕЦ високого та середнього тисків (ТП-100, ТП-100А, ТП-109, ТП-90, ТП-92, ТП-87 та низки вугільних котлів малої паропродуктивності) при їх переведенні на спалювання природного газу можливо досягнення номінальних параметрів з корегуванням при необхідності поверхні пароперегрівача (уточнюється при виконанні комплексу необхідних розрахунків та проектною документацією) та досягнення топковими заходами прийнятних значень викидів оксидів азоту та СО (нормативних та близьких до нормативних).

На вугільних котлах ТЕС надкритичного тиску (П-50, ТПП-312, ТПП-312А, ТПП-210, ТПП-210А) при переведенні їх на роботу на природному газі без зміни (коригуванні) схеми пароводяного тракту та впровадженням топкових заходів по придушенню оксидів азоту може бути досягнута паропродуктивність близька до номінальної з забезпеченням надійної роботи поверхонь нагріву.

Гарантовані значення навантаження котлів та викидів оксидів азоту та СО уточнюються при виконанні комплексу необхідних розрахунків та проектною документацією. У будь-якому випадку, порівняно з

вугільними котлами, викиди оксидів азоту котлів переведених на спалювання природного газу будуть у 2–3 рази нижче.

Попередній перелік заходів при переведенні вугільних котлів на спалювання природного газу:

- заміна пальникових пристроїв;
- зміна компоновки пальникових пристроїв;
- реконструкція повітропроводів в районі пальників;
- встановлення (або реконструкція) газопроводу природного газу;
- організація подачі димових газів рециркуляції;
- реконструкція сходів та помостів обслуговування в районі пальників;
- встановлення відповідних КВП та А;
- виконання необхідних відновлювальних робіт по котлу по узгодженню з Замовником.

Зважаючи на те, що зруйнована енергетична інфраструктура України, після закінчення бойових дій, вимагає якнайшвидшого відновлення, для забезпечення тепла та недопущення погіршення техногенної та гуманітарної ситуації, за якої теплові електростанції та мережі не зможуть забезпечити необхідного навантаження, пропонуємо застосувати стандартизовані рішення щодо енергетичних котлів, розроблених спеціально для заміщення існуючих котлів у системі ПЕК України. Використання існуючих комірок дозволяє істотно скоротити металоємність устаткування, що встановлюється, а також значно скоротити терміни та вартість проведення робіт з розробки та погодження проектною документації в частині «П» і «Р».

Це дозволить скоротити терміни реалізації проектів на тих електростанціях, теплоцентралях та котельнях, які зруйновані, або ще можуть бути зруйновані в ході бойових дій, і в короткий термін дати тепло до будинків постраждалих українців.

При реалізації проекту на об'єктах в Україні будуть задіяні більш ніж 50 підприємств України, а також велика кількість персоналу, який зараз перебуває у вимушеному простої, таких як: монтажники, енергетики, інженери, фахівці з АСКТП. При цьому виникає потреба постачати обладнання з країн ЄС, США та інших партнерів України. Включають труби, арматуру, контролери, датчики та інше.

На першому етапі запускається виробництво та інжиніринг, що сприяє виходу економіки України із стагнації, викликаной війною, створюючи робочі місця та наповнюючи державні та місцеві бюджети податками. По суті, ця програма може бути частиною Ленд-лізу в поєднанні з планом Маршала!



*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ТЕПЛОВИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ В НАСЛІДОК ВИПАРОВУВАННЯ ВОДИ НА ІСНУЮЧИХ СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ**

Вода та енергетичні ресурси нерозривно пов'язані між собою, оскільки велика кількість енергії потрібна для перекачування, очищення, транспортування, нагрівання та охолодження води, а з іншого боку, вода використовується для виробництва електроенергії у вигляді пари для обертання турбін та у вигляді рідини для охолодження на теплових електричних станціях. З технологічної точки зору, розвиток передових водних та енергетичних технологій має вирішальне значення для досягнення сталого виробництва та споживання води та енергії. Виробництво теплової та електричної енергії є одним з найважливіших напрямків у зв'язку вода–енергія через його залежність від наявності водних ресурсів для охолодження. Системи охолодження є найбільш водомісткою частиною процесу генерації електричної енергії на теплоелектричних станціях, що відкриває значні можливості для зменшення використання прісної води. Це особливо важливо в країнах, де використання теплоелектричних станцій відіграє домінуючу роль у виробництві електроенергії, а регіональний дефіцит води є значним фактором, особливо це характерно для таких країн як Сполучені Штати та Китай.

На світове виробництво електроенергії, припадає ~10% та ~3% від загального обсягу забору та споживання води відповідно. У США та Західній Європі близько 50% забору прісної води припадає на виробництво електричної енергії, насамперед у вигляді охолоджувальної води. У Китаї майже 84% загального забору води припадає на виробництво теплової та електричної енергії, 99% з якої використовується на вугільних електростанціях. Беручи до уваги наслідки зміни клімату, у багатьох регіонах спостерігається зменшення кількості прісної води. Зв'язок між майбутнім використанням води та виробництвом електричної енергії був оцінений у багатьох регіонах, таких як південний захід США, Великобританія та Південна Африка. У найближчому майбут-

ньому можна очікувати дефіцит прісної води для охолодження, а також потенційно для використання в установках уловлювання CO<sub>2</sub> на теплоелектростанціях.

Джерелом води для теплових електростанцій може бути як природні поверхневі води, підземні води, рециркуляційні води та очищена питна вода. За визначенням Геологічної служби США, «забір води» – це вода, видалена з джерела води і більша її частина повертається до джерела, тоді як «споживання води» означає частину видаленої води, яка втрачається в системі (наприклад, через випаровування або включення в виробництво або продукт) і недоступна іншим користувачам. Приблизно 10% світового забору води припадає на виробництво енергії, тоді як понад 80% світового виробництва електроенергії припадає на теплоелектричні станції, які використовують викопне паливо та атомну енергетику. Вода є особливо важливим елементом для виробництва електроенергії з точки зору ефективної та безпечної роботи. В США, у загальному обсязі забору води у 2010 році охолоджувальна вода для об'єктів виробництва теплової та електричної енергії (45%) переважала обсяг забору для зрошення сільського господарства (32%). Понад 90% електроенергії в США виробляється теплоелектричними станціями за допомогою ядерного та/або викопного палива.

Сучасні системи уловлювання CO<sub>2</sub> на теплоелектростанціях (наприклад, за допомогою процесу основаному на використанні амінів), на яких використовується вугілля, також вимагають значної кількості охолоджуючої води. Додавання процесу уловлювання CO<sub>2</sub> на основі аміну подвоїть використання води для системи мокрого охолодження. У середньому вугільна електростанція генерує 500 кг/МВт·год викидів CO<sub>2</sub> визначили, що уловлювання та зберігання 90% CO<sub>2</sub> з такої установки збільшить використання води на станції на 20–50%. Аналогічно, у випадку Великої Британії, на шляху до 2050 року де очікується високий рівень використання технології уловлювання та зберігання CO<sub>2</sub> яка призведе до збільшення інтенсивності споживання води на 30–69% порівняно з рівнем 2010 року.

Основна частина забору та споживання води для теплоелектростанцій припадає на роботу установок, особливо на процес охолодження. Градирня – це широко використовуваний пристрій, який передає надмірну (залишкову) теплову енергію в технологічній системі за допомогою введення потоків води з більш низькою температурою. Для виробництва теплової та електричної енергії потрібна величезна кількість води для конденсації пари з турбіни. Наприклад, звичайна вугільна

електростанція потужністю 500 МВт зазвичай споживає приблизно  $26,5 \text{ м}^3$  води на хвилину. Приблизно 90% води на електростанціях використовується для охолодження пари, що виходить з турбіни.

Інтенсивність споживання води для виробництва електроенергії значно варіюється залежно від регіону. Специфіка технологій охолодження визначає забір і споживання прісної води для виробництва електроенергії в країні. Сухе охолодження вважається найважливішим підходом до раціонального використання прісної води для теплових електростанцій. Сумарний забір води та витрати на систему сухого охолодження становили лише  $0,02\text{--}0,60 \text{ м}^3/\text{МВт}\cdot\text{год}$ . Також визначено, що споживання води та відведення сухої системи охолодження можна зменшити більш ніж на 75% порівняно з мокрими рециркуляційними градирнями. Фактично, використання води для відбору в системі мокрого охолодження зазвичай у п'ять разів вище, ніж у сухому охолодженні. Середнє питоме споживання води та водозабір при використанні мокрої системи охолодження становить приблизно  $0,5\text{--}2,6$  та  $1\text{--}132 \text{ м}^3/\text{МВт}\cdot\text{год}$  відповідно, залежно від продуктивності електростанції. Якщо порівнювати одні й ті ж системи охолодження, то газові турбіни комбінованого циклу демонструють відносно низький забір і споживання води серед інших технологій генерації електричної енергії.

Для вибору технологій охолодження існує компроміс між забором та споживанням води, залежно від регіональної доступності прісної води. Наприклад, на існуючих теплових електростанціях США охолодження на однопрохідних системах та рециркуляційних градирнях припадає 43% і 53% від загального обсягу систем охолодження відповідно. В Індії однопрохідні системи та рециркуляційні градирні складають 32% та 67% від загальної кількості систем охолодження на вугільних електростанціях відповідно. Охолодження за допомогою однопрохідної системи призводить до значного забору води, але незначного споживання води, тоді як вологе рециркуляційне охолодження демонструє більш високе споживання води, але значно менше її відбір. Переважна більшість води, що відбирається для виробництва електроенергії, пропускається через однопрохідну систему охолодження, а потім повертається до першоджерела. У цьому випадку вода швидко «використовується» для процесу охолодження, а не «витрачається». Однак охолодження однопрохідною системою може бути не екологічним варіантом для сучасних теплоелектростанцій через велике надходження води і теплового скидання у водне середовище. Це порушує і суттєво впливає на водні екосистеми. В даний час в бага-

трьох регіонах швидко зросла кількість електростанцій, що використовують систему мокрого (випарного) охолодження з відкритою рециркуляційною градирнею.

За даними НЕК «Укренерго», станом на кінець 2021 року, загальна встановлена потужність ОЕС України складала 56,169 ГВт, з яких 49,7% припадала на теплові електростанції (ТЕС, ТЕЦ, блок-станції), 24,6% – на атомні електростанції (АЕС), 11,2% – на гідроелектростанції та гідроакумулюючі електростанції, а 14,3% – на електростанції, що працюють на відновлювальних джерелах енергії. Виходячи з встановленої потужності ОЕС України можливо розрахувати втрати прісної води, що утворюється за рахунок її випаровування на ставках охолоджувачах та градирнях для теплоелектричних станцій, а саме АЕС, ТЕС та ТЕЦ. Результати розрахунків приведено у табл. 1.

*Таблиця 1*

***Результати розрахунку впливу на навколишнє середовище тепловими електричними станціями України (станом на 2021 р.)***

<b>Тип теплової електричної станції</b>	<b>Сумарна встановлена потужність, ГВт</b>	<b>Частка в ОЕС України, %</b>	<b>Питомі безповоротні втрати води за рахунок випаровування, тис. м<sup>3</sup>/год</b>	<b>Загальні безповоротні втрати води за рахунок випаровування, млн м<sup>3</sup>/рік</b>
АЕС	13,8	24,6	31,7	206,1
ТЕС ГК	21,8	38,8	21,8	170,5
ТЕЦ та інші ТЕС	6,1	10,8	19,7	157,6
Разом	41,7	74,2	73,2	534,2

У табл. 2 наведено статистичні дані щодо щорічного використання прісної води на протязі року в різних галузях економіки (станом на 2021 р.).

Таким чином, теплові електричні станції впливають на навколишнє середовище не тільки у вигляді забруднюючих речовин, що утворюються в результаті спалювання викопного палива при виробництві електричної енергії, а і за рахунок безповоротних втрат прісної води, що випаровується в системі охолодження цих станцій.

Як показало дослідження цих втрат, на теплових електричних станціях щогодини безповоротно втрачається 73,2 тис. м<sup>3</sup> прісної води з систем охолодження в наслідок випаровування, що в річному виразі

відповідає 534,2 млн м<sup>3</sup> прісної води. Це складає 9,5% всієї прісної води, що використовується на протязі року в Україні або 15% від загальної кількості прісної води яка йде на потреби промисловості (згідно статистичних даних станом на 2021 р.).

Таблиця 2

**Статистичні дані, щодо використання прісної води в Україні на протязі року, млн м<sup>3</sup>**

Показник	Значення
Загальне використання прісної води	5650,0
На потреби:	
– виробничі	3553,0
– питні і санітарно-гігієнічні	1019,0
– зрошення	971,0
– інші потреби	107,0

За даними Державного агентства водних ресурсів України.

Зростаючі вимоги щодо раціонального використання прісної води в енергетичному секторі економіки відповідають національним стратегіям сталого розвитку. Підвищення ефективності використання прісної води шляхом модернізації існуючих систем охолодження та впровадження передових водозберігаючих технологій може зменшити кількість води, необхідної енергетичному сектору. Наприклад, використання систем вологого охолодження замість ставків-охолоджувачів є ефективною стратегією зниження швидкості забору води. Додавання повітроохолоджувачів до системи охолодження води є також ефективним підходом до зменшення теплового навантаження на оточуюче середовище та використання живильної прісної води, а також запобігає забрудненню системи охолодження.

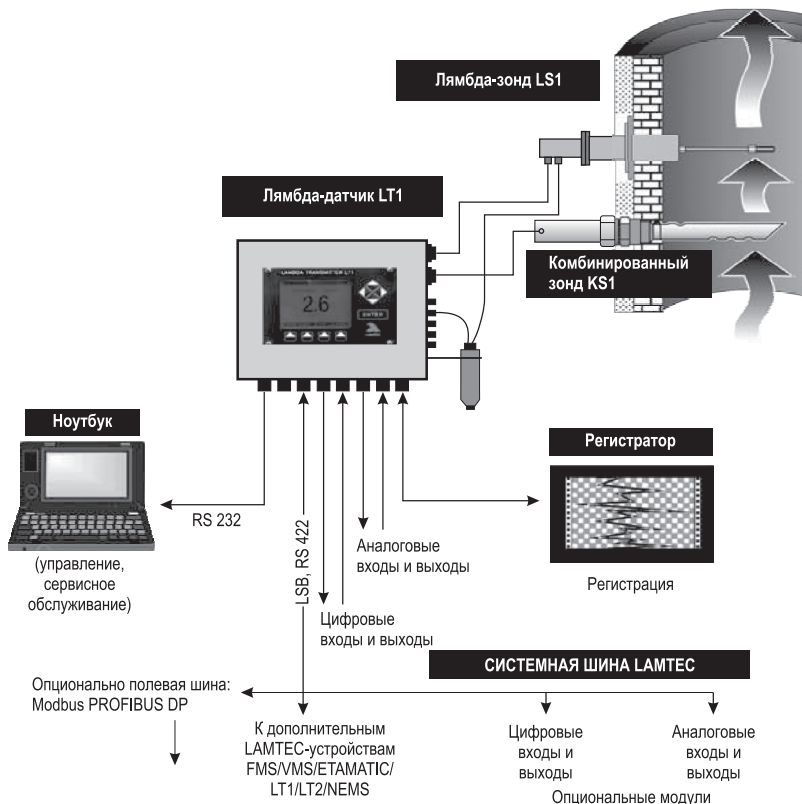
**К. Буйнявичус, А. Янчаускас, Е. Пуйда**

*Каунасский технологический университет, кафедра Энергетики,  
Институт энергетики Литвы, г. Каунас, Литва*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРЕДЕЛЬНО НИЗКОГО ИЗБЫТКА ВОЗДУХА В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ**

Избыточный воздух, поступающий на горение в горелку, увеличивает тепловые потери с дымовыми газами и приводит к перерасходу топлива за счет снижения КПД котла. Во время наладочных работ определяется оптимальное значение  $O_2$  в дымовых газах, при котором сохраняется качественное сгорание топлива с минимальным содержанием  $CO$  и  $O_2$  за котлом. Однако, при обычной эксплуатации котла, такая установка избытка воздуха не возможна, так как это привело бы или к увеличенному избытку воздуха, или наоборот – к нехватки кислорода и увеличению  $CO$  до недопустимых значений. Это происходит из-за колебаний калорийности топлива (в Литве в пределах 1–2%), из-за изменения температуры воздуха на горение (изменение объема воздуха до  $\pm 5\%$ ), из-за колебаний атмосферного давления (изменения объема на  $\pm 1,5\%$ ), из-за механических неточностей работы воздушных заслонок горелок. В результате, для постоянной эксплуатации устанавливаются значительно завышенные избытки воздуха и, в следствии, котел работает на пониженном КПД и перерасходует топливо.

С целью определить технические возможности применения автоматической поддержки минимальной концентрации  $O_2$  с соблюдением  $CO$  на приемлемом уровне, на двух паровых котлах BWE 5 т/час, 13 бар, оснащенных газовыми горелками (по одной на котле) Weishaupt G50/2, были смонтированы системы постоянного измерения концентраций  $O_2$  и  $CO$  в дымовых газах и блоки управления производства фирмы LAMTEC (см. рисунок). Чувствительные элементы датчиков  $O_2$  и  $CO$  размещены в потоке дымовых газов, поэтому измерения концентраций происходит практически мгновенно. Отказались от применения наружных электрохимических датчиков от газоанализаторов из-за недопустимой задержки сигнала измерения концентраций, что может привести к возникновению взрывоопасных концентраций  $CO$  в топке.



**Рисунок.** Система фирмы LAMTEC для коррекции избытка воздуха, позволяющая коррекцию подачи воздуха в горелку в зависимости от  $O_2$  и  $CO$  дымовых газах (LAMTEC описание EK-LT1-DLT6052-19-aRU-008).

В данном случае горелка имела собственный менеджер горелки, поэтому корректирующий сигнал от системы измерения  $O_2/CO$  был использован для управления дополнительно установленным преобразователем частоты, меняющим обороты вентилятора горелки. Опыт показал надежность работы датчиков и системы управления избытком воздуха фирмы LAMTEC. Датчики, которые являются наиболее чувствительным элементом системы, отработали гарантийный срок 20 000 часов и продолжали работать дальше, удерживая первичные характеристики по измерению концентраций. Часть результатов, полученных на котле № 2 представлены в таблице. На котле № 1 были получены аналогичные результаты.

**Результаты работы котла № 2 на низких избытках воздуха**

Параметр	Режим без системы коррекции	С включенной системой коррекции $O_2/CO$
Концентрация $O_2$ , %	5,0	0,8
Коэффициент избытка воздуха $\alpha$	1,310	1,045
Концентрация $CO$ , $mg/m^3$	5,5	66,0
Температура уходящих газов, $^{\circ}C$	202,6	198,6
Потери тела с уходящими газами, %	9,2	7,5
КПД котла, %	90,8	92,5
Концентрация $NO_x$ , $mg/m^3$	109	99

Обычно, при понижении избытка воздуха, уменьшается разбавление газов избыточным воздухом и наблюдается повышение температуры уходящих газов за котлом. Однако, при работе на предельно низких избытках воздуха, происходит изменение цветовых характеристик факела. Вместо привычного цвета газового пламени, при низком избытке воздуха факел приобретает фиолетовый оттенок, увеличивается объем пламени и это приводит к повышенному тепловому излучению. В следствии этого, увеличивается теплоотдача в топке и температура дымовых газов за котлом даже снижается на 1–4  $^{\circ}C$ .

При обычной работе  $NO_x$  составляет 120–150  $mg/m^3$ . Но при работе на предельно низких избытках во всех режимах концентрация  $NO_x$  не превышала 100  $mg/m^3$ , а снижение концентрации составляло 10–40%.

Установлено, что автоматическая поддержка минимального избытка воздуха и регулирование количества воздуха с применением преобразователя частоты вместо заслонки, позволяет сэкономить около 20–25% электроэнергии.

### Выводы

1. Внедрение системы управления избытка воздуха на газовом котле позволило постоянно работать при  $O_2$  0,7–1%, поддерживая  $CO$  на уровне не превышающем 100–300  $mg/m^3$ .
2. На предельно низких избытках воздуха КПД котла повышается от 1,2 до 2%, а потребление электроэнергии снижается на 20–25%. Снижение избытка воздуха на 0,1 в среднем приводит к снижению потребления топлива на 0,65–0,8%.



3. Концентрация  $\text{NO}_x$  при низких избытках снижается на 10–40%, в зависимости от нагрузки котла.

### **Список использованной литературы**

1. Лямбда-датчик LT1. Краткая инструкция пользователя. <https://www.lamtec.de/en/topmenu/international.html>.

УДК 502.5:504.38

**Jean-Luc. Poget** (за наданими автором матеріалами)

*Eastern-Advisory, Франція*

## **THE INVESTMENT MECHANISM IN THE CITY'S ENERGY INFRASTRUCTURE ON THE EXAMPLE OF TERNOPIL**

On July 10, 2024, the city of Ternopil, represented by Mayor Serhiy Nadal, has signed an investment memorandum with Earlybird Global and SRDB Law Firm, both represented by Nabil Sioufi, designed to attract international investors on three strategic projects:

1. Combined Heating and Power (CHP) plant.
2. Water and Wastewater Treatment Facilities.
3. Urban Solar Energy.

TERNOPIL, Ukraine–(BUSINESS WIRE)–Earlybird Global, a US firm providing strategic advisory services, led by Nabil Sioufi, is focusing on the modernization of Ukraine. According to Nabil Sioufi, “It is a good time for international partners and investors to seize the massive opportunity offered by the modernization of Ukraine. Ternopil has plenty of potential and an exemplary governance. Don’t wait the Day of Victory to step forward. Some projects start now.”

“Two years ago, Ukraine took the powerfully transformational road of EU candidacy, engaging in regulatory and institutional alignment with the European Union.”

Post this

Ternopil is a western Ukraine city with a fast-growing population, now around 250,000 people, and an increasing need for infrastructure and

utilities. Mayor Serhiy Nadal declared, “The resilience of communities and the strength of Ukrainians are key to the Victory. The Ternopil community has been a very active participant in international programs. Energy independence is especially important for Ternopil in this challenging time. We look to the future with the signing of the investment memorandum which will allow us to implement strategic modernization projects.”

Georges Sioufi, head of SRDB Law Firm, highlighted, “We enjoy working with a new generation of Ukrainian leaders resolutely oriented towards international cooperation – and the IMF praises the exceptional resilience of the Ukrainian economy of the three last years.”

The focus of the memorandum is on three major investments:

Building a CHP plant with a capacity up to 70 MW to supply municipal heat and generate electricity.

Modernizing the Water and Wastewater Treatment Facilities, under a PPP (Public Private Partnership) agreement.

Developing Urban Solar Energy on the rooftops of residential buildings managed by the city, and of public buildings.

Nabil Sioufi added, “We are already approaching private corporations, international financial institutions, and European and US agencies.”

*Dr Jean-Luc Poget, senior partner at Earlybird Global and currently Green Economy Policy Advisor to the government of Uzbekistan, commented, “Two years ago, Ukraine took the powerfully transformational road of EU candidacy, engaging in regulatory and institutional alignment with the European Union.”*

## **THE EU MODERNISATION FUND – WITH SOME CONCRETE EXAMPLES**

To promote consistency between different submissions and to facilitate the investment proposal assessment process, in consultation with the European Commission (EC), the European Investment Bank (EIB) has developed this Assessment Guidance Document. This document discusses investment submission practicalities, assessment criteria and assessment processes performed by the EIB and the Investment Committee (IC).

The Modernisation Fund (MF) at national level operates under the responsibility of each of the beneficiary Member States (BMS) [1, 2]. Investments suitable for the support from the MF and its assessment principles are determined by:

- Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a system for greenhouse gas emission

allowance trading within the Union and amending Council Directive 96/61/EC with amendments (ETS Directive).

- Commission Implementing Regulation 2020/1001 of 9 July 2020 laying down detailed rules for the application of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council as regards the operation of the Modernisation Fund supporting investments to modernize the energy systems and to improve energy efficiency of certain Member States with amendments (IR).

The roles and responsibilities of the BMS, the EIB, the IC and the EC with respect to assessment activities are set out below:

The BMS are responsible for:

- Implementing the MF on their territory.
- Submitting an annual indicative overview of their planned investments to the EC, the EIB and the IC.
- Selecting and submitting investment proposals for confirmation by the EIB or the IC.
- Providing the information needed for investment proposals assessment on the specific proposal forms.
- Ensuring compliance with Union and national law on their territory, including but not limited to laws regarding money laundering, the financing of terrorism and the detection and prevention of fraud.

The EIB is responsible for:

- Confirming whether an investment submitted as a priority investment is a priority investment.
- Conducting financial and technical due diligence of non-priority investments, including an assessment of the expected emission reductions.
- Transferring the respective resources to the BMS following the disbursement decision of the EC.
- Preparing the draft annual report for the IC.

The IC is responsible for:

- Issuing recommendations on the financing for non-priority investments.

The EC is responsible for:

- Taking the disbursement decision once an investment has been confirmed by the EIB or recommended for financing by the IC.
- Ensuring compliance with the ETS Directive and the IR.
- Interpretation of the legal and regulatory framework governing the MF.

This MF Assessment Guidance Document is prepared in consultation with the EC and has been reviewed by the IC. It may be subject to future revisions and updates during the MF implementation period.

## References

1. MODRRNISATION FUND Accelerating the transition to climate neutrality
2. ASSESSMENT GUIDANCE DOCUMENT <https://modernisationfund.eu/wp-content/uploads/2024/07/ASSESSMENT-GUIDANCE-DOCUMENT-CLEAN-VERSION.pdf>

УДК 662.995:662.61

**С. Г. Кобзар<sup>1</sup>, Л. С. Гапонич<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

*<sup>2</sup>Інститут теплоенергетичних технологій НАН України, м. Київ*

### **ВПЛИВ ПІДВИЩЕНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ КИСНЮ В ДУТТЬОВОМУ ПОВІТРІ НА ПРОЦЕС СПІЛЬНОГО СПАЛЮВАННЯ SRF З МЕТАНОМ В ТОПЦІ КОТЛА КВГМ 20**

В Україні на рівні державних рішень і міжнародних зобов'язань задекларовано наміри щодо поступового заміщення в енергетиці органічних видів палив, переважно вугілля та газу, альтернативними. Серед альтернативних палив, які у довгостроковій перспективі можуть використовуватись у паливно-енергетичному комплексі (ПЕК) України, є палива вилучені з твердих побутових відходів (ТПВ). При термічній переробці таких палив утворюється енергія, яка може бути використана для виробництва електроенергії та теплоти (технологія «Waste-to-Energy» або WtoE). Треба зазначити, що обсяги утворення ТПВ в Україні за останні роки сягають 11,5–12,5 млн т, з яких можна вилучити 2,5–3 млн т відновленого палива RDF/SRF з середньою теплотворною спроможністю 14–15 МДж/кг [1].

В табл. 1 наведено елементний склад, вихід летких і теплоту згорання SRF, що отримано з ТПВ для України в цілому. Елементний склад і вихід летких SRF розраховано за їх морфологічним складом та елементним складом компонентів [1].

**Ідея дослідження** полягала у оцінці перспективи спалювання палива з ТПВ у існуючому котельному обладнанні при спільному спалюванні його з природним газом та вплив підвищеної концентрації кисню

в дутьовому повітрі. Проведені дослідження [2, 3] показали можливість спільного спалювання палива з ТПВ з вугіллям в енергетичному пилувугільному котлі та модельній камері згоряння SRF палива 5-го класу. В даному дослідженні в якості об'єкта дослідження було вибрано котел KBГM 20-150, який поширений у комунальному господарстві та промисловості України. Досліджувалися перспективи спільного спалювання SRF палива 3-го класу з природним газом.

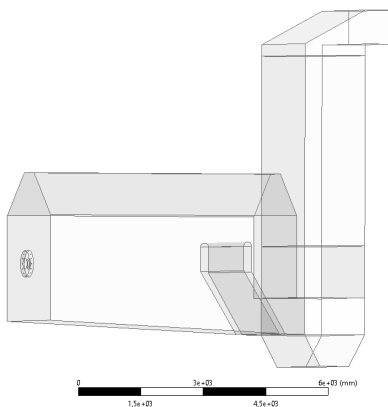
Таблиця 1

**Елементний склад, вихід летких і теплота згоряння SRF**

Елементний склад на робочу масу (r), %							Вихід летких, %	С фіксований	$Q_i^r$ , МДж/кг
C <sup>r</sup>	H <sup>r</sup>	O <sup>r</sup>	N <sup>r</sup>	S <sup>r</sup>	A <sup>r</sup>	W <sup>r</sup>			
37,6	5,3	34,6	0,4	0,2	10,9	11,0	68,7	9,4	14,1

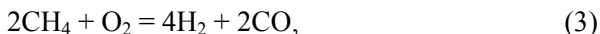
Котел водогрійний газомазутний KBГM 20 теплопродуктивністю 20 Гкал/год призначений для нагріву води систем теплостачання до

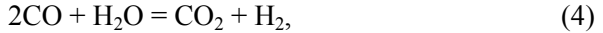
150 °С, має топкову камеру з горизонтальним потоком топкових газів і конвективну шахту. Комп'ютерна модель водогрійного газомазутного котла KBГM 20 представлена на рисунку.



**Рисунок.** Комп'ютерна модель котла KBГM 20-150.

**Модель горіння метану.** При проведенні розрахунків використовувався WGS механізм окислення метану, який складається з тристадійного механізму окислення метану (реакції 1–3) [4, 5], та реакції конверсії водяної пари (water gas shift) (реакції 4–5). Реакція 4–5 були введені з тих міркувань, що паливо з ТПВ містить вологу і при її випаровуванні в зоні високих температур буде підвищена концентрація водяних парів.



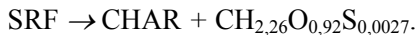


Для визначення концентрації оксидів азоту використовувалися стандартні термічний та швидкий механізми утворення оксиду азоту. Швидкість утворення розраховувалася згідно рекомендацій для значення температури, що розрахована за допомогою функції щільності вірогідності [6].

Для визначення середньої швидкості протікання хімічних реакцій (1–3) використовувалася модель дисипації вихорів Магнусена [7]. Швидкості протікання хімічних реакцій (4–5) визначалися за допомогою закону Арреніуса.

**Модель горіння твердого палива.** Для моделювання горіння частинок твердого палива використовувалася вбудована в пакет CFX стандартна модель. Згідно цієї моделі транспорт частинок моделювався шляхом розв'язання рівняння руху частинки в постановці Лагранжа. При потрапленні частинки твердого палива в топку котла з нею відбуваються наступні процеси: сушка; термічна деструкція; горіння вуглецю.

**Термічна деструкція.** В дослідженні було прийнято, що процес термічної деструкції твердого палива починається після досягнення температури виходу летких  $T_{devol} = 550 \text{ K}$  для SRF. Передбачалося, що тверде паливо під час термічної деструкції розкладається на коксовий залишок (CHAR) та леткі, склад яких був визначений виходячи зі складу горючої маси палива (табл. 1):



Зміна маси частинки залежить від матеріалу твердого палива, залишку летких у матеріалі та задовольняє закону Ареніуса з властивими конкретному матеріалу значеннями енергії активації  $E_{vol}$  та перед-експонентним фактором  $k_{vol0}$ :

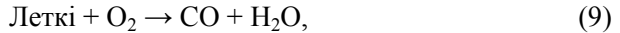
$$k_{vol} = k_{vol0} \exp\left(-\frac{E_{vol}}{RT_p}\right). \quad (7)$$

Кінетичні параметри у виразі (7) були взяті з [8].

**Горіння коксового залишку.** Для моделювання гетерогенного горіння коксового залишку використовувалася стандартна дифузійно-кінетична модель горіння вуглецю. Прийнято, що горіння відбувається на зовнішній поверхні за сумарною (брутто) реакцією:

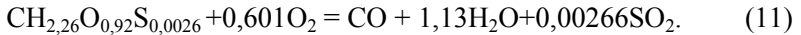


**Горіння летких.** Після виходу летких їх горіння відбувається у гомогенному середовищі. Горіння відбувається за двостадійним механізмом:



Виходячи з елементного складу SRF (табл. 1), для летких був отриманий вираз первинної реакції механізму хімічної кінетики (9).

Для SRF в нашому випадку первинна реакція горіння летких має вигляд:



Первинна реакція горіння летких була запрограмована за допомогою препроцесора пакета прикладних програм Ansys CFX. Горіння в середині топки котла лімітується в першу чергу процесом змішування палива та окиснювача, тому середня швидкість хімічної реакції горіння летких визначалася за моделлю дисипації вихорів.

**Дослідження спільного спалювання SRF та метану в котлі КВГМ 20-150.** Для дослідження перспектив спалювання SRF 3 класу у газомазутному котлі КВГМ 20-150 були проведені дослідження процесу спільного спалювання палива з твердих відходів з природним газом. Всі розрахунки були проведені для номінальної потужності котла – 23,26 МВт<sub>т</sub>, було зроблено припущення, що природний газ складається тільки з метану. Надлишок повітря для природного газу становив 1,05, а для SRF – 1,15. При спільному спалюванні витрата повітря розраховувалась з врахуванням витрати палива та відповідного надлишку повітря. На першому етапі було проведено моделювання роботи котла на природному газі. Отримані результати були прийняті в якості еталону для виявлення впливу заміщення природного газу на тверде паливо SRF.

Конструкція газомазутного пальника типу РГМГ-20 передбачає на своїй вісі отвір під ротаційну форсунку, а по краях отвору розташовано канал первинного повітря з осьовим завихрювачем, лопатки якого встановлені під кутом 30° до вісі пальника. До розгляду було взято випадок, коли вся витрата твердого палива здійснюється димовими газами крізь отвір для ротаційної форсунки, а відповідне повітря, яке необхідне для спалювання твердого палива подається крізь канал первинного повітря. Швидкість димових газів дорівнювала 1 м/с, а склад димових

газів відповідав складу димових газів при спалюванні метану з надлишком повітря 1,05. Середній розмір часточок SRF був прийнятий 200 мкм. Температура димових газів та твердої фракції становила 100 °С. Температура стінок котла в топці була задана 170 °С.

Результати дослідження показали, що при збільшенні подачі SRF у топку котла спостерігається поступове охолодження ядра факелу, що пов'язано з випаровуванням вологи з частинок твердої фази. Під дією додаткової кількості водяних парів, при сумісному спалюванні метану та SRF у топці котла КВГМ 20 спостерігається підйом факелу до стелі топки. При збільшенні частки твердого палива спостерігається перебудова структури факелу в порівнянні з випадком коли спалюється чистий метан. Значення максимальної температури змінюються не суттєво, в діапазоні зміни частки SRF у тепловому балансі, що досліджувався. При спільному спалюванні метану та SRF у топці котла КВГМ 20 спостерігається «затягування» горіння, що призводить до перерозподілу поля концентрації кисню, таким чином, що в зоні високих температур опиняється кисень, що призводить до підвищення утворення оксидів азоту за термічним механізмом. До підвищення утворення оксидів азоту при спільному спалюванні SRF та метану, призводить деяка кількість оксидів азоту, що утворюється за паливним механізмом, з азоту, що міститься у SRF.

Вплив частки SRF у тепловому балансі котла КВГМ 20 на екологічні та технологічні показники показані в табл. 2. Оцінка втрат палива при спільному спалюванні SRF та метану проводились за формулою:

$$\Delta Q_{loss} = \frac{\sum Q_{loss i}}{P_{thermal}}, \quad (12)$$

де  $P_{thermal} = 23,26$  МВт – теплова потужність пальника,  $\sum Q_{loss i}$  сума втрат палива від хімічного та механічного недопалу, та з вуглецем, що не згорів.

**Умови для знешкодження шкідливих речовин.** При залученні SRF як палива для знешкодження шкідливих речовин (діоксинів та фуранів), що утворюються при спалюванні компонентів ТПВ, необхідно забезпечити тривалість перебування продуктів згорання в зоні з температурою не нижче 850 °С (1123 К) як мінімум 2 с [9]. Результати розрахунку температурного поля та данні з температури та динаміки руху частинок SRF дозволяють визначити середню тривалість знаходження в високотемпературній зоні частинок та продуктів згорання ТПВ, вона



становить 2,5 с. Таку тривалість можна визначити як прийнятну для знешкодження шкідливих речовин.

Таблиця 2

**Вплив частки SRF у тепловому балансі котла КВГМ 20 на екологічні та технологічні показники, %**

Заміщення SRF у тепловому балансі котла КВГМ 20	Втрати палива	Збільшення емісії CO	Збільшення емісії NO
0	0	0	0
5	0,33	5,45	9,52
10	1,53	10,57	9,73
15	1,59	10,60	10,00
Підвищена концентрація кисню в дуттьовому повітрі			
5	0,29	9,17	7,16
10	0,69	10,80	8,74
15	0,70	10,53	10,00

**Вплив підвищеної концентрації кисню у первинному повітрі** досліджувався шляхом завдання масової концентрації кисню у кількості 0,25 замість 0,232 що характерно для атмосферного повітря Землі на її поверхні. Результати розрахунків наведені в табл. 2. Порівнюючи результати, що наведені в табл. 2, можна зробити висновок, що підвищення концентрації кисню в первинному повітрі приводить до деякого погіршення показників по втраті палива для кількості 5% SRF у тепловому балансі котла, та майже не впливає для значень 10 та 15%. По викидам оксидів азоту спостерігається поліпшення показників для 5%, та майже не впливає для 10 та 15%.

Підвищена концентрація кисню у первинному повітрі суттєво не змінила середню тривалість знаходження в високотемпературній зоні частинок та продуктів згоряння ТПВ, вона становить 2,5 с, як для випадку зі звичайною концентрацією кисню.

### Висновки

Проведені дослідження показують можливість сумісного спалювання SRF та метану у топці котла КВГМ 20. Оптимальна кількість SRF у тепловому балансі котла КВГМ 20 становить 5%, в цьому випадку крім добрих техніко-екологічних параметрів, забезпечуються сприятливі умови для знешкодження шкідливих речовин. У разі необ-

хідності підвищити витрату SRF необхідно залучати додаткові методи попередньої термічної конверсії SRF. Найбільш оптимальними є залучення технологій швидкого піролізу або спалювання палива з твердих побутових відходів у передтопку. Підвищена концентрація кисню у первинному повітрі у дослідженому діапазоні суттєво не впливає на основні показники сумісного спалювання SRF з метаном.

### Список використаної літератури

1. Гапонич Л. С., Топал О. І., Голенко І. Л. & Кобзар С. Г. Оцінка потенціалу виробництва RDF на основі визначених технологічних і морфологічних властивостей твердих побутових відходів України // Наукові праці НУХТ. 2022. 28(3). С. 44–59. doi: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-6
2. Кобзар С. Г., Топал О. І., Гапонич Л. С. & Голенко І. Л. Моделювання процесу сумісного спалювання природного газу з паливами із твердих побутових відходів // Електронне моделювання. 2020. (42). С. 74–92. <https://doi.org/10.15407/emodel.42.06.072>.
3. Кобзар С. Г., Гапонич Л. С., Голенко І. Л., Топал О. І. Дослідження процесу сумісного спалювання вугілля з паливом з твердих побутових відходів на ТЕС / в кн.: Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : колективна монографія / [авт. кол. : Мадані М. М., Крутоголова І. О., Андреева Н. М. та ін.] / за ред. проф. Мальваного М. С. Київ : Яроченко Я. В., 2022. – 566 с. : рис., таблиці / Online-видання / С. 104–124. <https://science.lpnu.ua/ecocongress-2022/collective-monograph-2022>
4. Westbrook C. K. and Dryer F. L. Simplified Reaction Mechanisms for the Oxidation of Hydrocarbon Fuels in Flames // Combust. Sci. and Tech. 1981. V. 27. P. 31–43.
5. Bartok W. and Sarofim A. F. (Eds.). Fossil Fuel Combustion: A Source Book. John Wiley & Sons, New York, 1991. 866 p.
6. Chui E. H., Hughes P. M. J. Validation of NO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> Precursor Predictions in Coal Flames // Combust. Sci. and Tech. 1996. V. 119. P. 51–75.
7. Magnussen B. F. and Hjertager B. W. On the structure of turbulence and a generalized eddy dissipation concept for chemical reaction in turbulent flow. AIAA, Aerospace Sciences Meeting, 19<sup>th</sup>, St. Louis, USA, 1981. 6 p.
8. Siddiqi, Muhammad Hamid et al. Evolution of kinetic and hydrothermal study of refused derived fuels: Thermo-gravimetric analysis // Energy Reports 7. 2021. P. 1757–1764. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.03.010>
9. Neuwahl F., Cusano G., Benavides J. G., Holbrook S. & Roudier S. Best Available Techniques (BAT). Reference Document for Waste Incineration. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2019. Retrieved from <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118637>.

**І. Я. Сігал, А. В. Сміхула, О. В. Марасін,  
Е. П. Домбровська, О. В. Горбунов, М. О. Дяченко**

*Інститут газу НАН України, м. Київ*

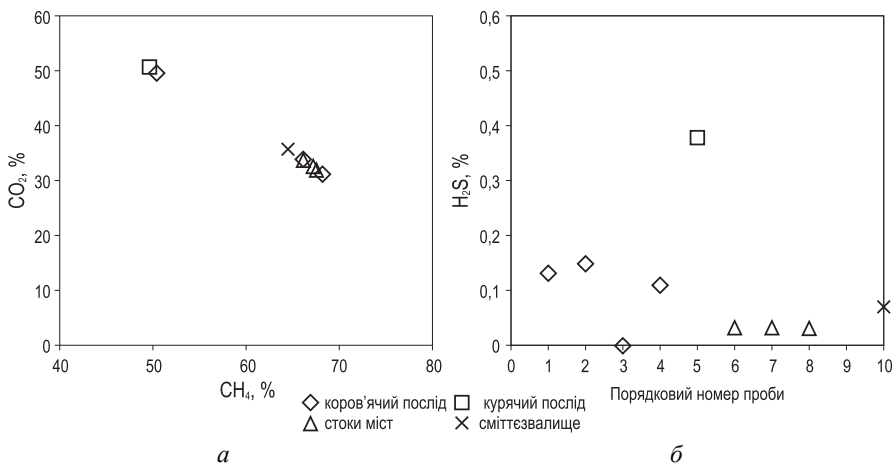
## **ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАМІЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ БІОГАЗОМ В ІСНУЮЧИХ ПАРОВИХ ТА ВОДОГРІЙНИХ КОТЛАХ**

Вже починаючи з середини 60-х років 20 століття використання біогазу в Україні відбувалося в промислових масштабах. Так, в м. Києві була введена в експлуатацію Бортницька станція аерації де в 4 метантенках першої черги будівництва (побудовані в 1965 році) відбувалась біологічна деструкція осаду стоків міста з виробництвом біогазу в кількості декількох мільйонів кубометрів на рік. Далі біогаз подавався як паливо замість природного газу до парових котлів ДКВР-6,5-13 паропродуктивністю 6,5 тонни пари на годину, при цьому, в наступні десять років було побудовано ще 4 метантенки другої черги і їх загальна кількість доведена до восьми.

Концепція утворення біогазу полягає в тому, що будь-які органічні відходи безумовно на протязі якогось часу піддаються біологічній деструкції бактеріями з утворенням біогазу, який не контролювано потрапляє до атмосферного повітря. Але, якщо ці органічні відходи помістити всередину герметичної ємності – біореактору (метантенку), з дотриманням в ньому оптимальних умов та інших технологічних факторів (температури, вологість, перемішування, фракціонування, бактеріального складу), процес розкладання можна провести максимально швидко. При цьому, біогаз не потрапляє до атмосфери і його можна використати як паливо замість природного газу для генерації електричної та теплової енергії. Відповідно, організована біологічна деструкція органічних відходів в метантенках є перевіреним та надійним способом отримання паливного газу. Тобто, якщо є в наявності достатня кількість органічних відходів, особливо, якщо вони не забруднені шкідливими для ґрунтів і рослин речовинами, то отримуються, окрім паливного газу, додатково і високоякісні добрива. Зауважимо, що ці проекти є, як правило, економічно окупними за 7–15 років (на жаль, перероб-

лені бактеріями відходи з станцій аерації заборонено використовувати як добриво на сільськогосподарських угіддях, через наявність в стоках міст відходів підприємств). Наприклад, в ЄС не менш 50% фермерських господарств в ЄС мають біогазові установки для організованої деструкції сільськогосподарських відходів з отриманням біогазу і супутнім отриманням високоякісних добрив і цей процес всіляко стимулюється державами [1].

Основна відмінність біогазів, що отримані на станціях аерації, сміттєвих полігонах та сільськогосподарських фермах, полягає в різній концентрації діоксиду вуглецю та сірководню. На рис. 1 приведена концентрація діоксиду вуглецю і метану в біогазах різного походження та концентрація сірководню.



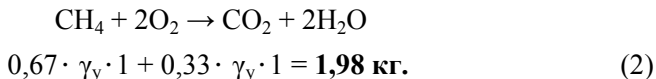
**Рис. 1.** Концентрація CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> та сірководню в біогазах різного походження.

При цьому, за рахунок спалювання біогазу зменшується його вплив на парниковий ефект [2]. Так, при викиді до атмосфери 1 м<sup>3</sup> біогазу з співвідношенням CH<sub>4</sub> – 67%, CO<sub>2</sub> – 33% внесок у парниковий ефект виражений в еквіваленті діоксиду вуглецю становить:

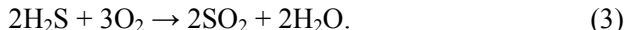
$$0,67 \cdot \gamma_{\text{м}} \cdot 25 + 0,33 \cdot \gamma_{\text{у}} \cdot 1 \approx \mathbf{12,7 \text{ кг.}} \quad (1)$$

(викид 1 кг CH<sub>4</sub> прирівнюється до надходження до атмосфери 25 кг CO<sub>2</sub>).

А при спалюванні 1 м<sup>3</sup> біогазу (з одного моля метану утворюється 1 моль CO<sub>2</sub>; густина: метану –  $\gamma_{\text{м}} = 0,717 \text{ кг/м}^3$ , CO<sub>2</sub> –  $\gamma_{\text{у}} = 1,977 \text{ кг/м}^3$ ):



Тобто за рахунок спалювання біогазу, вдається знизити викиди парникових газів на 84%. При цьому сірководень  $\text{H}_2\text{S}$ , окислюється при згорянні до діоксиду сірки:



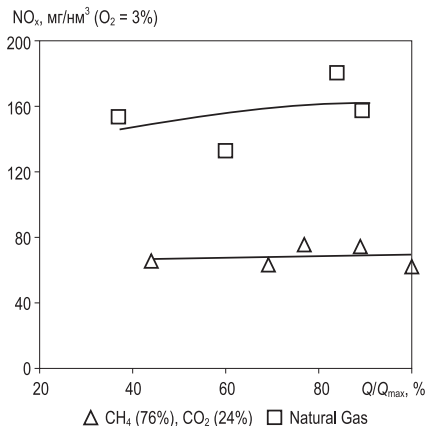
Умовна токсичність викиду біогазу до атмосфери (при 0,1%  $\text{H}_2\text{S}$  в біогазі, що орієнтовно можна прийняти з рис. 1) складе ( $M$  – маса,  $\text{мг/нм}^3$ ;  $\text{ГДК}$  – граничнодопустима концентрація,  $\text{мг/нм}^3$ ):

$$T(\text{H}_2\text{S}) = M(\text{H}_2\text{S}) / \text{ГДК}_{\text{М.Р.}} \text{H}_2\text{S} = 1540 / 0,008 = \mathbf{192\ 500}. \quad (4)$$

Умовна токсичність сухих димових газів при спалюванні біогазу складе:

$$T(\text{SO}_2) = M(\text{SO}_2) / \text{ГДК}_{\text{М.Р.}} \text{SO}_2 = 2860 / 0,5 = \mathbf{5720}. \quad (5)$$

Тобто, зниження токсичності викиду при спалюванні біогазу який містить сірководень в кількості 0,1% становить 97%. Відмітимо, що при наявності запаху сірководню – це викликає різке невдоволення населення, а при його окисленні до  $\text{SO}_2$  інтенсивність запаху знижується в тисячі разів.



**Рис. 2.** Результати випробувань котла ДКВР-6,5-13 при спалюванні природного газу та біогазу з вмістом метану близько 76% та  $\text{CO}_2$  – 24% [3].

Спалювання біогазу, на відміну від природного газу, також призводить до зниження утворення оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ). Так, на рис. 2 [3] приведено концентрації оксидів азоту при спалюванні природного газу і біогазу в котлі ДКВР-6,5-13 Бортницької станції аерації. Як видно з рис. 2, питомі концентрації оксидів азоту при наявності в біогазі всього 24%  $\text{CO}_2$ , нижчі вдвічі і вони повністю відповідають директиві ЄС 2010/75/EU [4].

Отриманий рівень  $\text{NO}_x$  в діапазоні 63–76  $\text{мг/нм}^3$  (при 3%  $\text{O}_2$ ) повністю відповідає нормам ЄС для роботи котла від 1 МВт на природно-

му газі та інших газових видах палива, проте в лабораторних умовах при цій концентрації  $\text{CO}_2$ , було отримано ще більший відсоток зменшення  $\text{NO}_x$  [5]. Це можна пояснити тим, що біогаз містить домішки  $\text{NH}_3$  і його окислення відбувається у передній частині фронту полум'я в топці за реакцією  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$ .

Для ряду парових та водогрійних котлоагрегатів (ДКВР-6,5-13, ДЕ-16-14, ТВГ-8 та ін.) Інститутом газу НАН України було розроблено подові та вихрові пальникові пристрої для спалювання біогазів різного походження з різною концентрацією метану, також розроблено факельні установки які утилізують біогаз під час ремонтів основного обладнання [6].

### Висновки

1. Обґрунтовано, що деструкція органічних відходів в метантенках дозволяє не тільки отримати біогаз для його подальшого корисного використання з генерацією електричної, теплової енергії чи технологічної пари, а і зменшує викиди біогазу до атмосфери, що містить шкідливі забруднювачі та парниковий газ – метан.
2. Показано, що за рахунок спалювання біогазу, на прикладі з концентрацією близько  $\text{CH}_4$  – 67%,  $\text{CO}_2$  – 33%, внесок у парниковий ефект виражений в еквіваленті діоксиду вуглецю зменшується на 84%, а при наявності домішки в біогазу 0,1% сірководню зниження токсичності викиду становить 97%.
3. На прикладі досліджень проведених в паровому котлі ДКВР-6,5-13 Бортницької станції аерації, при спалюванні біогазу з вмістом близько 24% баласту  $\text{CO}_2$ , було досягнуто рівень  $\text{NO}_x$  вдвічі менший ніж при спалюванні природного газу і отриманий рівень  $\text{NO}_x$  в діапазоні 63–76 мг/нм<sup>3</sup> (при 3%  $\text{O}_2$ ) повністю відповідає вимогам директиви ЄС 2010/75/EU.
4. Для ряду парових та водогрійних котлоагрегатів які використовуються в Україні на спиртових, цукрових заводах, підприємствах харчової та обробної промисловості, станціях аерації та ін. розроблено подові та вихрові пальникові пристрої для спалювання біогазів різного походження, з різною концентрацією метану та наявності інших шкідливих домішок, зокрема корозійно-активної  $\text{H}_2\text{S}$ .

### Список використаної літератури

1. Проект концепції державної цільової економічної програми з енергоефективності та розвитку відновлюваних джерел енергії на 2022–2026 роки / Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Київ, 2020. URL : [https://sae.gov.ua/sites/default/files/11\\_12\\_2020\\_Concept\\_EEPROGRAM.pdf](https://sae.gov.ua/sites/default/files/11_12_2020_Concept_EEPROGRAM.pdf)

2. Ukraine's Greenhouse Gas Inventory 1990–2021 (Draft). Annual National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol / Ministry of Energy and Environmental Protection of Ukraine. Kyiv, 2023. URL : [https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/03/Kadastr\\_2023.pdf](https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/03/Kadastr_2023.pdf)

3. Sigal I. Ya., Smikhula A. V., Marasin O. V., Gurevich M. O., Lavrentsov E. M. Methods to reduce NO<sub>x</sub> formation during gas combustion in boilers // Енерготехнології та ресурсозбереження. 2022. № 4. С. 62–72. DOI: 10.33070/etars.4.2022.06.

4. Directive 2010/75/EU of the European parliament and of the council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) // Official Journal of the European Union. 2010. 17 December. 119 p.

5. Сигал И. Я., Смихула А. В., Дубоший А. Н., Горбунов А. В., Гобунов А. А. Снижение образования оксидов азота при сжигании природного газа // Енерготехнології та ресурсозбереження. 2016. № 4. С. 44–51.

6. Сигал І. Я., Сміхула А. В., Марасін О. В., Домбровська Е. П. Досвід спалювання біогазу в існуючих парових та водогрійних котлах // Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики : зб. праць / за ред. к.т.н. О. І. Сігала ; Інститут промислової екології. – Київ : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2023. С. 63–66.

УДК 658-264

**О. А. Климчук, Г. І. Позднякова**

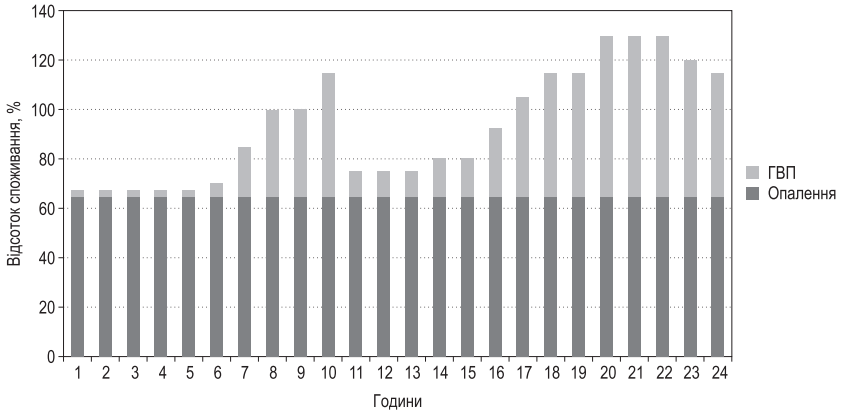
*Національний університет «Одеська політехніка», м. Київ*

## **МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ У ПОВОЄННИЙ ПЕРІОД**

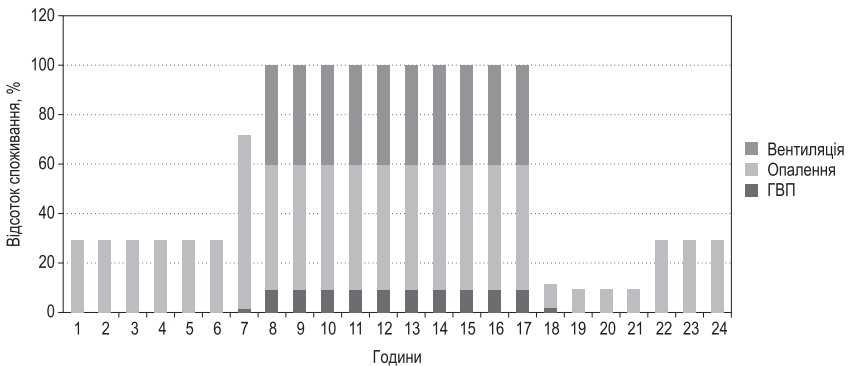
Одним із важливих напрямків повоєнного відновлення України є модернізація систем теплопостачання. Найбільшої уваги заслуговують системи централізованого теплопостачання міст та районів міст. Проектування таких систем відбувалось декілька десятиків років тому і враховувало перспективи розвитку районів міст. При цьому характеристики джерел теплоти та теплових мереж були завищені та розраховувались на максимальне споживання теплоти. В наш час в забудованих районах відомі всі характеристики споживачів теплоти, а також режими споживання теплової енергії. Вище сказане означає що при модернізації теплових мереж та джерел теплоти необхідно враховувати не тільки потреби у тепловій енергії абонентами, а також режими споживання впродовж доби, та взаємний вплив на споживання споживачами різного типу.

На режим споживання тепла впродовж доби, також в основному впливає призначення будівлі. Для аналізу режимів теплопостачання було обрано наступні будівлі: багатоповерхова житлова будівля; адміністративна будівля; будівля громадського призначення.

Як видно із діаграм (рис. 1–3) у всіх типах будівель спостерігається провал теплового навантаження у нічний період доби. Вказана обставина дозволяє зробити припущення щодо доцільності використання місцевих акумуляторів теплоти для вирівнювання навантаження на теплову мережу впродовж доби.

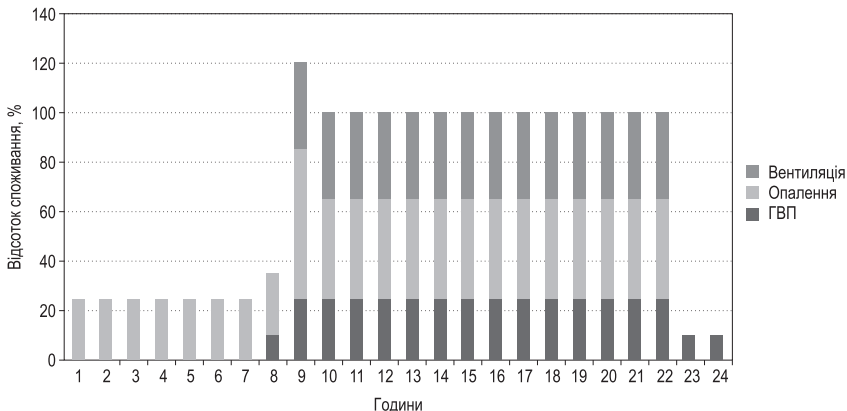


**Рис. 1.** Діаграма споживання тепла впродовж доби багатоповерховим будинком.



**Рис. 2.** Діаграма споживання тепла впродовж доби адміністративним будинком.





**Рис. 3.** Діаграма споживання тепла впродовж доби будинком громадського призначення.

Ще одним фактором є наявність розбіжностей у «піках» та «провалах» теплового навантаження впродовж доби. Ця нерівномірність має важливе значення у перерахунку технічних характеристик теплових мереж із урахуванням компенсації «піків» одного типу споживачів за рахунок «провалу» інших споживачів. Вказане дозволяє оптимізувати основні характеристики теплових мереж та споживачів теплоти.

### Список використаної літератури

1. Закон України про енергозбереження: № 74/94 від 1.07.1994 р. // Закони України. Київ, 1997. Т. 7. С. 281–291.
2. Закон України про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки: № 2623-III від 11.07.2001 р. // Закони України. Київ, 2001. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2623-14#Text>

**О. І. Сігал, Д. Ю. Падерно, Н. А. Ніжник**

*Інститут промислової екології, м. Київ  
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА КОВЕЛЬ**

Місто Ковель – місто обласного значення в Волинській області, районний центр Ковельського району та адміністративний центр Ковельської територіальної громади. Територія міста складає 47,31 га. Чисельність населення міста Ковель з 2017 року демонструє слабку тенденцію до зниження, і станом на 01.01.2024 року становила 67 575 осіб, хоча у Генеральному плані міста передбачена чисельність 70 000 осіб на 2025 рік.

В поточній структурі теплопостачання міста задіяні наступні оператори та теплові джерела:

- підприємство теплових мереж «Ковельтепло» – централізована система теплопостачання;
- автономні котельні 4 закладів;
- відомчі промислово-опалювальні котельні;
- індивідуальні системи теплопостачання у садибній забудові міста та частково в багатоквартирних будинках.

Основним способом забезпечення споживачів міста Ковель тепловою енергією є централізоване теплопостачання.

В період з 1991 по 2023 роки проведено технічне переоснащення та масштабну оптимізацію котельень ПТМ «Ковельтепло». Відбулось поступове скорочення кількості котельень з 42 до 21 при тій самій кількості споживачів. На цей час система генерації теплової енергії СЦТ міста включає 21 котельню, в яких експлуатуються 81 котел. Генерація теплової енергії здійснюється в основному з використанням природного газу та біомаси (деревини) в якості палива. Більшість котельень (16 од.) можуть працювати як на газовому паливі, так і на твердому, 4 котельні – тільки на газовому паливі, 1 котельня – тільки на твердому.

Реконструйовані газові котельні підключені на пульт диспетчеризації, і тому не потребують постійної присутності оператора, що дає можливість одному оператору обслуговувати декілька котельень.

На території котельні «вул. Заводська, 27а» з 2019 року працює когенераційна установка потужністю 0,24 МВт<sub>ел</sub> та 0,31 Гкал/год<sub>тепл</sub>, ще одна когенераційна установка потужністю 0,50 МВт<sub>ел</sub> та 0,62 Гкал/год<sub>тепл</sub> планується до введення в експлуатацію в 2014 році.

Встановлена теплова потужність джерел генерації теплової енергії СЦТ становить 114,38 Гкал/год, максимальна за режимними картами котлів – 107,782 Гкал/год, корисна на відпуск теплової енергії – 105,47 Гкал/год. Підключене (договірне) навантаження складає 69,08 Гкал/год, що становить 60,4% від встановленої потужності, оціночне навантаження за фактичними даними за 2021–2023 роки складає 48,97 Гкал/год, або 42,8% від встановленої потужності. Резерв теплової потужності складає 56,5 Гкал/год, що складає 53% від корисної потужності.

Котли вводились в експлуатацію у період 2004–2024 років, за виключенням одного котла (Факел-Г), який був встановлений ще у 1988 році. Більшість з цих котлів відпрацювала менше 20 років, все обладнання є робочим (основним або резервним) і придатним до експлуатації для задоволення виробничих потреб.

Ефективність роботи котельень на природному газі становить 90,5–92,5%, на біомасі та двох видах палива – в діапазоні від 66 до 82%.

Фахівцями Інституту промислової екології, Інституту технічної теплофізики НАН України, Київського обласного експертного центру енергоефективності ДП «Київоблбудінвест», компаній «Ріком» та «АТОН» в 2024 році проводиться робота з розроблення нової схеми теплопостачання міста Ковеля на розрахунковий період 10 років – 2025–2034 роки.

Розвиток системи теплопостачання міста Ковеля передбачається з забезпеченням тепловою енергією споживачів міста в повному обсязі відповідно до виданих Технічних умов (ТУ) до 2034 року, з підвищенням частки теплової енергії від когенерації та альтернативних джерел, та максимально можливим підвищенням ефективності виробництва теплової енергії.

Пропонуються такі основні концептуальні напрямки розвитку системи теплопостачання міста Ковель в сфері системи генерації теплової енергії:

- створення умов відповідності системи централізованого теплопостачання міста вимогам Директиви 2012/27/ЄС «Про енергоефек-

- тивність» та закону України «Про енергетичну ефективність» – досягнення відповідності системи централізованого теплопостачання міста Ковель статусу «Ефективної системи теплопостачання»;
- підвищення ефективності подальшого використання традиційних джерел енергії та видів палива;
  - підвищення надійності та ефективності виробництва теплової енергії шляхом будівництва перемичок між мережами теплоджерел з можливістю їх взаємного резервування, та перерозподіл навантажень від менш ефективних котелень до потужніших та ефективніших;
  - розвиток виробництва теплової енергії з альтернативних відновлюваних джерел, зокрема з використанням різних видів біопалива (з встановленням 2 нових котлів на деревині), енергетичного потенціалу міських твердих побутових відходів (з будівництвом передбаченого Проектом змін до Генерального плану міста сміттєпереробного заводу та дооснащенням цього заводу технологічним модулем для спалювання палива з відходів), сонячної енергії (шляхом встановлення сонячних колекторів для нагріву води та фотогальванічних панелей), теплових насосів на каналізаційних стоках станції очищення стічних вод;
  - збільшення частки комбінованого виробництва електричної та теплової енергії (когенерації) шляхом встановлення когенераційних установок на промислових майданчиках 3 котелень;
  - розширення впровадження технології утилізації скидної теплоти димових газів котлів, шляхом встановлення утилізаторів теплоти димових газів, переважно конденсаційного типу, за 4 газовими котлами та 3 котлами на деревині.

З огляду на оголошений воєнний стан в Україні та існуючі високі ризики пошкодження об'єктів інфраструктури, особливо енергетичної інфраструктури, в тому числі об'єктів електричної та теплової генерації, на території всієї країни, передбачається щонайменше до припинення воєнного стану в країні залишити всі існуючі теплоджерела як аварійно-пікові та резервні на випадок пошкоджень та виникнення нагальної потреби забезпечення теплопостачання, незважаючи на можливо не оптимальну ефективність теплогенерації.

З метою наближення до задовільнення вимог до «Ефективної системи теплопостачання», передбачається збільшення частки виробництва теплової енергії від когенерації та альтернативних джерел, тобто вико-

ристання в СЦТ міста першу чергу теплової енергії, виробленої з застосуванням когенераційних та альтернативних технологій, за рахунок першочергового завантаження когенераційних та альтернативних теплових джерел, з максимізацією частки використання теплової енергії, виробленої на таких джерелах.

УДК 697.34:697.32

**О. І. Сігал<sup>1,2</sup>, Д. Ю. Падерно<sup>1,2</sup>, Н. А. Ніжник<sup>1,2</sup>, Д. В. Рогожин<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>Інститут промислової екології, м. Київ*

*<sup>2</sup>Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

*<sup>3</sup>КП «Житомиртеплокомуненерго» Житомирської міської ради,  
м. Житомир*

## **ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО РОЗВИТКУ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА ЖИТОМИРА**

Місто Житомир є адміністративним, економічним та культурним центром Житомирської області та Житомирської міської об'єднаної територіальної громади.

В системі генерації теплової енергії для централізованого теплопостачання споживачів міста Житомира працює один основний оператор – КП «Житомиртеплокомуненерго» Житомирської міської ради (КП «ЖТКЕ»).

Існуюча система генерації теплової енергії системи централізованого теплопостачання (СЦТ) міста охоплює 70 теплоджерел: 54 котельні КП «ЖТКЕ», що розподілені на 13 теплових дільниць, та 16 автономних котелень бюджетних закладів систем освіти та охорони здоров'я, загальною встановленою тепловою потужністю 685,6 Гкал/год, з яких корисна потужність на відпуск теплової енергії складає 517,2 Гкал/год.

Підключене (договірне) теплове навантаження СЦТ міста Житомира становить 279,9 Гкал/год, фактичне (оціночне) – 285,9 Гкал/год. Основним видом палива при виробництві теплової енергії теплоджерелами

системи централізованого теплопостачання міста є природний газ. В автономних та індивідуальних системах теплопостачання використовуються також деревина, вугілля та торф'яні брикети в невеликих кількостях. Невелика частка теплопостачання забезпечується з використанням електричної енергії. В одній котельні міста встановлені 2 електричні котли. Для послуг теплозабезпечення використовуються також 3 повітряні теплові насоси, які встановлені у малопотужних теплових джерелах.

Всього в теплових джерелах КП «ЖТКЕ» встановлено 200 котлів, в т. ч. 2 електричні котли, та 3 одиниці теплонасосного обладнання. Більшість з цих котлів відпрацювала понад 20 років, це обладнання є морально та фізично застарілим.

Загальне перспективне додаткове теплове навантаження системи централізованого теплопостачання міста на 2033 рік, з урахуванням виданих Технічних умов (ТУ) 7,8 Гкал/год та затверджених Детальних планів територій (ДПТ) 15,08 Гкал/год, становитиме всього 22,88 Гкал/год. Загальної теплової потужності теплоджерел (ТД) СЦТ міста буде достатньо для забезпечення перспективних потреб споживачів у тепловій енергії, однак надійність та енергоефективність теплопостачання потребують покращення, а обладнання – модернізації.

Доцільні шляхи розвитку та напрями модернізації систем централізованого теплопостачання країни розглянуті в [1]. Розвиток СЦТ має здійснюватись відповідно до положень чинних нормативних документів, які регламентують діяльність в сфері теплопостачання населених пунктів, в т. ч. Закону України «Про теплопостачання», а також нещодавно прийнятих Закону України «Про енергетичну ефективність» та «Методики розроблення схем теплопостачання населених пунктів України», затвердженої наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 02.10.2020 р. № 235. Так, згідно Закону «Про енергетичну ефективність», схема теплопостачання має визначати «найбільш економічно ефективний сценарій теплопостачання населеного пункту, що сприяє наближенню існуючої системи до показників ефективного централізованого теплопостачання, сприяє зменшенню обсягу використання паливно-енергетичних ресурсів для виробництва, транспортування та постачання одиниці теплової енергії споживачам». При цьому визначення ефективного централізованого теплопостачання в цьому законі відповідає визначенню в Директиві 2012/27/ЄС «Про енергоефективність»: «система централізованого теплопостачання, що використовує мінімум 50 відсотків відновлюваної енергії, або 50 відсотків скидної теплоти, або 75 відсотків теплової енергії, виробленої у

процесі когенерації, або 50 відсотків сукупності такої енергії та теплоти».

Для досягнення відповідності такому статусу, система генерації теплової енергії СЦТ міста Житомира потребує збільшення частки використання відновлюваної енергії, скидної теплоти та теплової енергії від когенерації.

На цей час в умовах дії воєнного стану в Україні внаслідок нападу агресора вимушено відбулось зміщення звичайних пріоритетів розвитку системи тепlopостачання – енергозбереження та захисту довкілля – на безпекову складову. Відповідно, одним з основних напрямів розвитку СЦТ міста Житомира було визначено підвищення надійності та безперервності тепlopостачання споживачів міста, зокрема за рахунок об'єднання основних теплоджерел міста в єдину систему тепlopостачання з взаємним резервуванням, та при цьому забезпечення підвищення ефективності подальшого використання традиційних джерел енергії.

В 2023 році фахівцями Інституту промислової екології, Інституту технічної теплофізики НАН України, Київського обласного експертного центру енергоефективності ДП «Київоблбудінвест», компаній «Ріком» та «АТОН» розроблена нова схема тепlopостачання міста Житомира на розрахунковий період 10 років: 2024–2033 роки. Згідно цієї схеми, рекомендований сценарій розвитку системи тепlopостачання міста Житомира передбачає проведення її реконструкції з забезпеченням відповідності нормативним вимогам, в тому числі задовільненням потреб споживачів міста в повному обсязі, відповідності нормативним вимогам щодо надійності, якості, енергоефективності та екологічності.

Розвиток системи генерації теплової енергії СЦТ міста за рекомендованим сценарієм здійснюватиметься за наступними напрямками:

1. Будівництво нових теплових джерел – 4 од.
2. Реконструкція існуючих котелень – 24 од.
3. Будівництво джерел комбінованого виробництва електричної та теплової енергії – 14 од. на 11 теплоджерелах.
4. Будівництво джерел на відновлюваних видах палива: біомаса – 6 од., біомаса + SRF – 1 од.
5. Встановлення утилізаторів скидної теплоти димових газів котлів – 16 од. у 10 теплоджерелах.
6. Встановлення теплових насосів – 17 од.: 15 теплових насосів у 9 теплоджерелах з використанням залишкового теплового потенціалу відхідних газів, та теплонасосної станції у складі 2 теплових насосів з використанням теплового потенціалу води річки Тетерів.

Передбачається перерозподіл навантаження на більш ефективні теплоджерела; так, після впровадження заходів, передбачених «Схемою теплопостачання міста Житомира», генерація теплової енергії в СЦТ міста буде здійснюватись на 37 теплоджерелах, в тому числі на 33 існуючих та 4 новозбудованих. При цьому інші існуючі котельні будуть переведені в стан піково-резервних.

На нових джерелах генерації теплової енергії будуть використовуватись когенераційні та альтернативні технології.

Зокрема, на території промислової зони неподалік вже запущеного заводу з перероблення побутових відходів (на території колишнього заводу верстатів-автоматів) передбачається будівництво технологічного комплексу ТЕЦ на альтернативних видах палива – штучному SRF-паливі з відходів та деревній трісці. Основні технічні характеристики теплоджерела наступні:

- котельне обладнання – 30 Гкал/год (1 котел або 2 котла по 15 Гкал/год);
- парова турбіна – 10,3 МВт;
- розрахункове паливо – SRF до 90% (25 тис. т/рік) та тріска – 10–100%;
- теплова потужність – 16 Гкал/год, вся від когенерації;
- ефективність виробництва ТЕ – 80%;
- сонячна електростанція – 300 кВт.

Заплановане також будівництво нових котельень:

1. «Вул. Героїв пожежних, 122» – блоково-модульна газова котельня потужністю 3 Гкал/год (2 котла по 1,5 Гкал/год), на заміну застарілої існуючої котельні на її промайданчику.
2. Для забезпечення тепловою енергією споживачів за новим ДПТ-10 – газова блоково-модульна котельня потужністю 2,5 Гкал/год (2 котла по 1,25 Гкал/год). Розташування – між вул. Вітрука та вул. Б. Тена.
3. Для забезпечення теплоенергією споживачів за перспективним ДПТ нового мікрорайону на території колишніх військових складів – котельня потужністю 32,8 Гкал/год на природному газі. Склад котельні: 3 котла по 10 Гкал/год газові, два конденсаційних утилізатора теплоти димових газів цих котлів по 0,8 Гкал/год, два теплових насоса з використанням залишкового теплового потенціалу вихідних газів з утилізатора (температура на рівні 50–60 °С), по близько 0,16 Гкал/год (COP = 4).

Додатково до вищезазначеного збільшення когенераційних потужностей заплановане за рахунок будівництва:



- ТЕЦ-на-біомасі (тріска деревини) на території РК-10;
- ТЕЦ-на-біомасі (тріска деревини) на території РК-11;
- ТЕЦ на природному газі на території РК-6, фактично відновлення її в статусі ТЕЦ з будівництвом електрогенеруючого паротурбінного обладнання та газопоршневих установок;
- ТЕЦ-на-біомасі (тріска деревини) на території РК-8;
- газопоршневої установки на території РК-9;
- газопоршневий установки на території РК-8;
- газопоршневої установки на території КК «вул. Шевченка, 103»;
- газопоршневої установки на території РК-1;
- газопоршневої установки на території РК-2;
- газопоршневої установки на території РК-5.

Новаційною особливістю Схеми є передбачене будівництво на РК-6 «водневого хабу», з поступовим переведенням котлів РК-6 на водень-вмісне паливо. При взаємодії отриманого електролізом водню з діоксидом вуглецю з димових газів котлів буде утворюватись синтетичний метан, утворена метаново-воднева суміш (до 10% водню) буде спалюватись з використанням наявного котельного та пальникового обладнання у збагаченій киснем (від електролізу) атмосфері, зі зниженим рівнем викидів оксидів азоту в навколишнє повітря. Утворений при спалюванні такої суміші діоксид вуглецю вже не враховується як викид парникового газу. В результаті така технологія сприятиме значному скороченню викидів забруднюючих речовин та парникових газів.

Реконструкція існуючих 24 ТД, що залишаться у експлуатації, передбачає відновлення працездатності котлів з заміною пальникового устаткування на низькоемісійне у всіх котлах теплопродуктивністю більше 50 МВт, встановлення котельних агрегатів, що працюють на біомасі, тепловою потужністю 42,3 Гкал/год (в т. ч. нова ТЕЦ), встановлення 16 конденсаційних утилізаторів теплоти димових газів у 10 теплогерелах та 17 теплових насосів у 9 теплогерелах. В результаті очікується підвищення корисної потужності та збільшення загальної ефективності використання палива на близько 5%.

Загальна перспективна встановлена потужність всіх теплогерел СЦТ складатиме близько 564,02 Гкал/год, тобто зменшиться на 17,65%, при цьому доступна корисна потужність на відпуск теплової енергії становитиме 472,14 Гкал/год. Після впровадження заходів Схеми тепlopостачання в СЦТ міста Житомира спостерігатиметься резерв теплової потужності близько 155,86 Гкал/год (27,6% від встановленої та 33% від корисної потужностей).

Частка встановленої потужності теплоджерел на відновлюваних та скидних видах палива/енергії складатиме 28,7% від оціночного навантаження, корисної потужності на відпуск теплової енергії – 28,5%.

Сукупна частка використання відновлюваної енергії, відпрацьованої (скидної) теплоти та теплоти від когенерації, прогнозно складатиме близько 51,2%. Таким чином, після впровадження заходів, передбачених Схемою теплопостачання міста Житомира, система централізованого теплопостачання міста очікувано буде відповідати вимогам до «Ефективного централізованого теплопостачання» відповідно до критеріїв Директиви 2012/27/ЄС «Про енергоефективність» та Закону України «Про енергетичну ефективність», зокрема критерію забезпечення використання мінімум 50% сукупності відновлюваної енергії, відпрацьованої (скидної) теплоти та теплоти від когенерації.

### **Список використаної літератури**

1. Стан та шляхи розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні. Кн. 1 / І. М. Карп, С. Є. Нікітін, К. Є. П'яних, О. І. Сігал, Д. Ю. Падерно та ін. Київ : Наук. думка, 2021. 264 с.

УДК 697.34:697.32

**О. І. Сігал, Д. Ю. Падерно, Н. А. Ніжник**

*Інститут промислової екології, м. Київ*

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА ЧЕРКАСИ**

З метою підвищення якості, енергоефективності, надійності, екологічності та фінансової стійкості міської системи теплопостачання міста Черкаси, оптимізації економічно ефективного теплопостачання міста тощо, на замовлення Tetra Tech ES, Inc. від імені Агентства з міжнародного розвитку США (USAID), фахівцями ТОВ «Атон Інжиніринг», Інституту технічної теплофізики НАН України, ТОВ «Інститут

промислової екології» та компанії «Ріком» в 2024 році здійснюється розроблення нової схеми теплопостачання м. Черкаси, у відповідності до положень «Методики розроблення схем теплопостачання населених пунктів України», затвердженої наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 02.10.2020 р. № 235, та відповідних чинних законодавчих та нормативно-правових документів, з урахуванням стратегії розвитку енергетики України та фактичного стану забудови міста і генерального плану м. Черкаси.

Місто Черкаси є адміністративним, культурним, діловим та промисловим центром однойменної області. Система теплопостачання міста складається з системи централізованого теплопостачання (СЦТ), систем автономного теплопостачання та систем індивідуального (поквартирного) теплопостачання.

Основним способом забезпечення споживачів міста Черкаси тепловою енергією є централізоване теплопостачання.

В системі централізованого теплопостачання міста задіяні 2 основних оператора:

- Комунальне підприємство теплових мереж «Черкаситеплокомуненерго» (далі – КПТМ «Черкаситеплокомуненерго»);
- Відокремлений підрозділ «Черкаська ТЕЦ» Приватного акціонерного товариства «Черкаське хімволокно» (далі – ВП «Черкаська ТЕЦ»).

Генерація теплової енергії для централізованого теплопостачання споживачів міста Черкаси здійснюється на 33 теплових джерелах, в яких встановлені 115 котлів (КПТМ «Черкаситеплокомуненерго» – 31 котельня, 98 котлів; ВП «Черкаська ТЕЦ» – 2 теплоджерела, в т. ч. Черкаська ТЕЦ, 17 котлів).

Котли працюють в основному з використанням природного газу, основним паливом для 5 котлоагрегатів ТЕЦ є вугілля, в незначних кількостях також використовується біомаса (2 малопотужних котла працюють на пелетах).

На 4 котельнях КПТМ «Черкаситеплокомуненерго» встановлені когенераційні газопоршневі установки (КГУ), паливом для яких є природний газ.

На ТЕЦ та КГУ КПТМ «Черкаситеплокомуненерго» здійснюється також генерація електричної енергії, встановлена електрична потужність ТЕЦ – 200 МВт, КГУ – 5,3 МВт.

Встановлена тепла потужність джерел генерації теплової енергії СЦТ становить 2066,4 Гкал/год, максимальна потужність за режим-

ними картами котлів – 1375,1 Гкал/год, корисна потужність на відпуск теплової енергії – 1368,5 Гкал/год, що дозволяє в повній мірі забезпечувати підключене навантаження СЦТ (договірне навантаження складає 380,1 Гкал/год, оціночне за фактичними даними – 479,0 Гкал/год).

Величини оціночного навантаження (при розрахунковій для опалення температурі навколишнього середовища  $-21^{\circ}\text{C}$ ) майже для всіх теплоджерел КПТМ «Черкаситеплокомуненерго» близькі до величин підключеного (договірного) навантаження, хоча спостерігаються незначні відхилення в обидві сторони. Узагальнено по КПТМ «Черкаситеплокомуненерго» сумарна величина оціночного навантаження (при  $-21^{\circ}\text{C}$ ) менша за величину договірною навантаження на 5,67 Гкал/год, або на 3,5%.

Величини оціночного навантаження для теплоджерел ВП «Черкаська ТЕЦ» суттєво більші (на 104,6 Гкал/год, або на 48,0%), ніж договірною.

Резерв корисної потужності відносно оціночного навантаження котелень КПТМ «Черкаситеплокомуненерго» складає 112,3 Гкал/год, або 41,7%, теплоджерел ВП «Черкаська ТЕЦ» – відповідно 777,2 Гкал/год, або 70,7%.

На цей час узагальнено по СЦТ міста Черкаси наявних потужностей теплових джерел достатньо для задовільнення потреб споживачів міста, загальний резерв корисної потужності складає 889,5 Гкал/год, або 64,5% корисної потужності та 185,7% оціночного навантаження.

Базовий сценарій розвитку системи теплопостачання міста Черкаси передбачає продовження звичної діяльності, з підтриманням працездатності існуючої системи теплопостачання на існуючому рівні, з урахуванням можливості заміни певних елементів системи теплопостачання відповідно до графіків ремонтів та реконструкцій, а також впровадження деяких запланованих та вже розпочатих заходів з енергозбереження, без удосконалення технологій, та без радикальних змін її технологічної структури.

Метою розрахунків за цим сценарієм є створення бази для порівняння з альтернативними сценаріями розвитку системи теплопостачання міста Черкаси.

За запропонованим розробниками схеми теплопостачання альтернативним сценарієм розвиток СЦТ м. Черкаси передбачає впровадження заходів базового сценарію та додатково до них будівництво та реконструкцію низки теплотехнічних об'єктів. Зокрема, по джерелах генерації теплової енергії:

1. Будівництво комплексу з перероблення та енергетичного відновлення твердих побутових відходів міста.
2. Встановлення когенераційних газопоршневих машин та генераторів електроенергії з додатковим оснащенням теплоутилізаційним обладнанням (розподілена когенерація).
3. Встановлення електричних котлів з системами акумуляції теплової енергії у 4 котельнях.
4. Встановлення утилізаторів теплоти димових газів котлів у одній котельні.
5. Заміну та реконструкцію котельного та насосного обладнання у декількох котельнях.
6. Перерозподіл теплового навантаження від декількох малих низько-ефективних котельнь, але з залишенням їх у резерві щонайменше на період дії воєнного стану в країні.

Встановлення когенераційних установок на теплових джерелах відповідає Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року, схваленої Розпорядженням Кабінету міністрів України від 18 липня 2024 р. № 713-р, однак при цьому необхідно звернути увагу на суттєві проблемні питання, які виникають у теплопостачальних організацій, зокрема щодо використання теплоти від КГУ в неопалювальний період.

Це питання на цей час є фактично типовим для міст країни, і особливо гострим в містах, де відсутнє теплове навантаження в неопалювальний період, і за необхідності здійснення охолодження КГУ вимагає створення відповідних систем для цього – будівництва спеціальних градирень або інших засобів.

В м. Черкаси споживачам цілий рік надається послуга гарячого водопостачання (ГВП), однак потрібний споживачам обсяг теплоти влітку вже на цей час менше потужностей ТЕЦ та вже встановлених КГУ, оператори яких конкурують між собою за споживача. Встановлення додаткових когенераційних потужностей, що є дуже корисним з точки зору зменшення існуючого зумовленого значними пошкодженнями енергосистеми в результаті агресії проти нашої країни дефіциту електроенергії в Україні, призведе до ще більшого загострення цієї проблеми. Аргументи щодо шляхів її вирішення в м. Черкаси стосуються як технічних та економічних аспектів, так і питань власності, оскільки майже всі котельні СЦТ знаходяться у комунальній власності (КПТМ «Черкаси-теплокомуненерго»), а ВП «Черкаська ТЕЦ», яке виробляє близько 72% річного обсягу теплової енергії СЦТ – у приватній власності.

О. І. Сігал<sup>1,2</sup>, Д. Ю. Падерно<sup>1,2</sup>, Г. І. Позднякова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Інститут промислової екології, м. Київ

<sup>2</sup>Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

<sup>3</sup>КП «Теплопостачання міста Одеси», м. Одеса

## **ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОДЖЕРЕЛ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА ОДЕСИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ**

Протягом 2021–2022 років за участі авторів цієї статті була розроблена нова Схема теплопостачання міста Одеси, погоджена наказом Міністерства розвитку громад та територій України № 98 від 03.06.2022 р. та затверджена рішенням Одеської міської ради № 982-VIII від 28.09.2022 р.

Основні концептуальні напрямки та рекомендовані заходи з розвитку системи централізованого теплопостачання міста Одеси, передбачені в цій Схемі, були описані в [1, 2].

Після впровадження заходів, передбачених цією Схемою, система централізованого теплопостачання міста очікувано буде відповідати вимогам до «Ефективної системи централізованого теплопостачання» згідно критеріїв Директиви 2012/27/ЄС «Про енергоефективність» та Закону України «Про енергетичну ефективність», зокрема щодо критерію забезпечення використання мінімум 50% сукупності відновлюваної енергії, відпрацьованої (скидної) теплоти та теплоти від когенерації.

Впровадження деяких передбачених в Схемі заходів вже розпочато і здійснюється, зокрема більшість малих низькоефективних вугільних котелень вже переведено на газове паливо, виконуються реконструкція теплових мереж та будівництво перемичок для взаємного резервування котелень і перерозподілу теплового навантаження, всі центральні теплові пункти (ЦТП) перетворено на розподільні теплові вузли (РТВ), в КП «ТМО» освоюється власне виробництво теплоутилізаторів та компонентів для реконструкції котлів НІСТУ-5 тощо.

Проте очевидно, що в умовах дії воєнного стану в Україні внаслідок нападу агресора терміни впровадження заходів, передбачених в

«Схеми теплопостачання міста Одеси» та в розроблених в місті планах і програмах, вже не є актуальними, але потреба та доцільність впровадження таких заходів зберігаються.

Окрім того, після затвердження «Схеми теплопостачання міста Одеси» з огляду на наявні та ймовірні надалі пошкодження інфраструктурних об'єктів через збройну агресію та зумовлену цим необхідність нових підходів та захисту систем, об'єктів і ресурсів, які є критично важливими в умовах воєнного стану, розроблено додаткові заходи щодо підвищення енергетичної безпеки та підвищення надійності роботи теплоджерел системи централізованого теплопостачання міста Одеси; деякі з них наведено нижче.

Так, у «Концепції енергетичної безпеки міста Одеси на 2023–2028 роки», схваленій рішенням Одеської міської ради від 03.05.2023 р. [3], передбачається будівництво когенераційної станції на РК «Північна-2» (вул. Паустовського, 29а) сумарною електричною потужністю 13,2 МВт<sub>ел.</sub> Окрім того, з метою підвищення енергетичної безпеки за рахунок децентралізації генерації електричної енергії, що критично необхідно в умовах терористичних атак на енергетичний сектор, який став однією з головних цілей військової агресії проти України, намічається будівництво когенераційних станцій з використанням газопоршневих машин і на інших котельнях:

- на потужній РК «Північна-1» (вул. Героїв оборони Одеси, 80а) – когенераційної станції на природному газі на базі двох або більше газопоршневих машин сумарною електричною потужністю близько 3,3 МВт з використанням частини електроенергії для власних потреб;
- на потужній РК «Південна-2» (пр-т Академіка Глушка, 11/2а) – когенераційної станції на природному газі на базі двох або більше газопоршневих машин сумарною електричною потужністю близько 9,9 МВт з використанням частини електроенергії для власних потреб;
- на потужній РК «Х квартал ПЗМ» (вул. Інглезі, 14а) – когенераційної станції на природному газі на базі двох або більше газопоршневих машин сумарною електричною потужністю близько 3,3 МВт з використанням частини електроенергії для власних потреб.

Для матеріального забезпечення цих пропозицій між Одеською міською радою та Програмою розвитку ООН (UNDP) вже підписано двосторонній Меморандум про безкоштовну передачу місту когенераційного обладнання загальною потужністю 29,7 МВт<sub>ел.</sub>

Окрім того, для підвищення енергетичної безпеки та забезпечення безперервності та надійності роботи теплових джерел у випадку аварійного відключення електропостачання в котельнях вже встановлено 51 електрогенератор, у тому числі: потужністю 1000 кВт – 2 од., 200–650 кВт – 6 од., 100–200 кВт – 7 од., 20–100 кВт – 25 од., 5,5–20 кВт – 11 од., а також передбачається встановлення щонайменше ще 2 генераторів потужністю 250 кВт і 500 кВт для електропостачання потужних котельнь КП «Теплопостачання міста Одеси», та 53 генераторів сумарною потужністю орієнтовно 3140 кВт для електроживлення малих котельнь у разі відсутності електроенергії.

На цей час в КП «ТМО», відповідно до Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року, схваленої Розпорядженням Кабінету міністрів України від 18 липня 2024 р. № 713-р, продовжуються перемовини та робота щодо подальшого збільшення кількості та сумарної потужності генераційних установок, в тому числі когенераційних, у теплоджерелах СЦТ, що очікувано приведе як до підвищення надійності енергопостачання цих об'єктів критичної інфраструктури, так і до підвищення частки енергії від когенерації в системі теплопостачання міста.

### **Список використаної літератури**

1. Сігал О. І., Падерно Д. Ю., Ніжник Н. А., Позднякова Г. І. Основні технічні рішення щодо розвитку джерел генерації теплової енергії системи централізованого теплопостачання міста Одеси // Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики : зб. праць / Інститут промислової екології. Київ : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2022. С. 172–176.
2. Сігал О. І., Падерно Д. Ю., Позднякова Г. І. Перспективи використання енергетичного потенціалу альтернативних джерел теплової енергії в системі централізованого теплопостачання міста Одеси / Там же. С. 255–266.
3. Рішення Одеської міської ради № 1158-VIII від 03.05.2023 «Про схвалення Концепції енергетичної безпеки міста Одеси на 2023–2028 роки». <https://omr.gov.ua/ua/acts/council/197682/>



**Г. В. Лужанська, І. В. Сергєєв, О. А. Ткачов,  
А. Ю. Конон, Д. О. Шилов, А. О. Харламова**

*Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса*

## **ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Нині у світовій енергетиці простежується стійка тенденція до збільшення виробництва та споживання енергії. В даний час основними джерелами одержання енергії є органічне паливо: вугілля, нафта та газ, які спалюють для отримання теплової та електричної енергії.

Звичайний (традиційний) спосіб отримання електрики та тепла полягає в їхній роздільній генерації (електростанція та котельня). При цьому значна частина енергії первинного палива не використовується.

Так, наприклад, при виробництві електричної енергії на електростанції виділяється тепло, яке часто утилізується не оптимально, шкідливо впливаючи на навколишнє середовище і призводячи до неефективності роботи. При цьому при звичайному виробництві електроенергії до 70% електрики, виробленої на центральних електростанціях, втрачається під час передачі та розсіювання тепла.

Когенерація дозволяє вирішити проблему утилізації відходів та захисту навколишнього середовища.

Когераційні установки призначені для одночасного виробництва теплової та електричної енергії.

Завдяки широкому діапазону потужності когенераційні установки успішно застосовуються в різних секторах комунального та виробничого призначення, роблячи об'єкти енергетично незалежними від центральної енергосистеми, будучи джерелами постійного енергопостачання для систем теплопостачання та електропостачання [1, 2].

У Законі України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання знижкового енергопотенціалу» термін «когенерація» визначається як «спосіб одночасного виробництва електричної та теплової енергії в рамках одного технологічного процесу внаслідок згоряння палива» [3, 4].

Когенераційні установки можуть працювати як в острівному режимі, так і в режимі передачі електроенергії до центральної енергоси-

стеми [5, 6]. Або паралельно з іншим джерелом тепла, або автономно – для забезпечення опалення та гарячого водопостачання.

Загальний коефіцієнт корисної дії когенераційних установок часто сягає 95%.

Когенерація дозволяє максимально використати енергетичний потенціал палива.

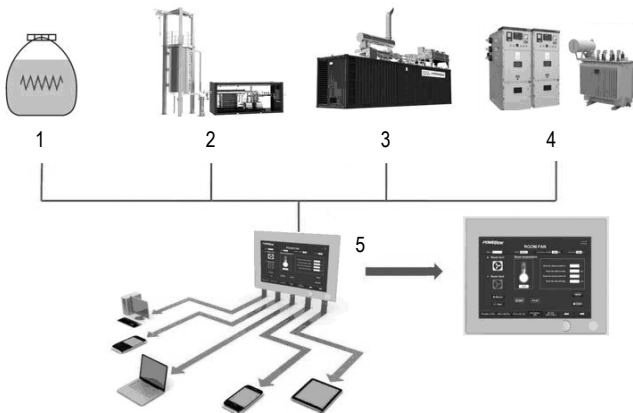
В якості палива можуть бути використані:

- природний газ;
- зріджений газ;
- біогаз;
- смітцевий газ;
- попутні гази;
- нафтові гази.

Завдяки своїй енергетичній ефективності когенерація дозволяє помітно знизити викиди забруднюючих речовин і парникових газів. Цей позитивний ефект зростає у разі використання таких видів палива невикопного походження, як біогаз.

Біогаз є одним із кращих видів палива для когенераційних установок, тому що відноситься до альтернативних джерел енергії, не викликаючи значного забруднення навколишнього середовища в порівнянні з традиційним органічним паливом. Крім того, одна з переваг біогазового палива в тому, що може використовуватися безпосередньо на місцевості з низьким рівнем витрат, високим рівнем екологічності.

Для більш ефективної роботи когенераційної установки використовують інтегровану систему керування (рисунок).



**Рисунок.** Інтегрована система управління когенераційною установкою:

1 – біогазове бродіння; 2 – підготовка газу; 3 – когенераційна установка; 4 – трансформатор (при необхідності); 5 – центральна система управління.

Устаткування когенераційних установок, призначене для одночасного виробництва електричної та теплової енергії досить просто за своїм пристроєм, економічно, швидко минає період окупності. Основна перевага установок – мінімізація втрат тепла під час роботи.

### Список використаної літератури

1. Падерно Д. Ю. Частка використання теплової енергії від когенерації та ВДЕ в системі централізованого тепlopостачання: алгоритм визначення // Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики : зб. праць / за ред. к.т.н. О. І. Сігала ; Інститут промислової екології. Київ : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2023. С. 40–43.

2. Баласаня Г., Остапенко А., Ляшенко В. Узгодження графіків електричного і теплового навантаження комбінованої системи енергозабезпечення з когенераційною установкою. Сучасні технології біомедицинської інженерії : матеріали III міжнародної науково-технічної конференції 8–10 травня 2024 р. Нац. ун-т «Одеська політехніка» / за заг. ред. І. В. Прокоповича, Н. В. Манічевої [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2024. С. 271–273.

3. Басок Б. И. Анализ когенерационных установок. Часть 1. Классификация и основные показатели [Текст] / Б. И. Басок, Е. Т. Базеев, В. М. Диденко, Д. А. Коломейко // Пром. теплотехника. 2006. Т. 28, № 3. С. 83–89.

4. Закон України Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу // Відомості Верховної Ради. 2005. № 20. С. 278, 285.

5. Лужанська Г. В., Губар Л. Б., Сергеев І. В. Модернізація систем тепlopостачання // The XIII International Scientific and Practical Conference «Information and its impact on social processes», April 3–5, Florence, Italy, 2023. P. 283–286.

6. Когенераційні технології в малій енергетиці: монографія / В. А. Малярченко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андреев, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Ін-т проблем машинобуд. ім. А. М. Підгорного. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 454 с.

Є. Й. Бикоріз<sup>1</sup>, С. В. Плашихін<sup>1,2</sup>, Ю. М. Маєра<sup>1</sup>, В. І. Селіванов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

<sup>2</sup>Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ**

Одним з визначальних факторів ефективного впровадження технологій зниження викидів оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) з продуктами спалювання органічних палив в котлах різної потужності є їх рентабельність.

Рентабельність в кожному випадку обчислювалася на основі фактичних даних, отриманих при впровадженні.

Рентабельність установки низькоемісійного пальника потужністю від 2,9 до 73 МВт на газовий блочний водотрубний котел розраховувалася на підставі річних витрат приведені дані про установку декількох низькоемісійних пальників [1, 2]. У розрахунках рентабельності, в кожному з випадків, використовувалися дані з окремого проекту. Межі зміни рентабельності, отримані з розглянутих джерел і приведені нижче. Розрахунки меж зміни рентабельності проведені для 42 котлів і відповідних ним технологій залежно від типу котлів, їх потужності, палива і технології контролю  $\text{NO}_x$ .

Велика частина отриманих даних стосуються газових котлів, оскільки найбільша активність в технічному переозброєнні котлів має місце в Південній Каліфорнії, де природний газ для котлів є основним паливом. Рентабельність для котлів, споживаючих пічне паливо і мазут, розраховувалася на підставі даних про річну вартість для газових котлів. Для розрахунку річного зниження викидів  $\text{NO}_x$  використовувалися дані про відповідні базові рівні викидів  $\text{NO}_x$  для котлів, споживаючих рідке паливо. У розрахунках економії палива за рахунок використання рециркуляції димових газів (РДГ) використовувалися дані про ціни на рідке паливо [3, 4].

У таблиці приведені капітальні і сукупні річні витрати на технології зниження  $\text{NO}_x$  залежно від потужності і типу котла [1–9]. Там же вказані прогнозовані рівні контрольованих викидів  $\text{NO}_x$ , що відносяться до кожної з технологій і типам котлів. Сукупна річна вартість включає початкові інвестиції, а також прямі, що повторюються, і непрямі витрати.

**Капітальні та сукупні річні витрати на технічне переозброєння котлів технологіями зниження NO<sub>x</sub>**

Технології зниження NO<sub>x</sub>:

ОНП – обмеження надлишку повітря;

ВВ – вприскування води;

РДГ – рециркуляція димових газів;

НЕП – впровадження низько емісійних пальників;

СКВ – система каталітичного відновлення;

ППВП – подача повітря через відключений пальник.

Тип котла/ потужність/ паливо	Технологія зниження викидів NO <sub>x</sub>	Контрольований рівень викидів NO <sub>x</sub> , кг/Гкал <sup>a</sup>	Капітальні витрати тис. грн./ МВт	Сукупні річні витра- ти тис. грн./ МВт/рік <sup>b</sup>
Жаротруб- ний/3 МВт/ природний газ, рідке па- ливо	ОНП+ВВ	0,07 (природний газ)	328,0	80,0
	ОНП+РДГ	0,13 (природний газ) 0,22 (рідке паливо)	720,0	160,0
Блочний водотруб- ний/ 15 МВт/ природний газ, рідке паливо	ОНП+ВВ	0,11 (природний газ)	720,0	28,0
	НЕП	0,14 (природний газ) 0,18 (рідке паливо)	88,0–312,0	46,4–49,2
	НЕП+РДГ	0,11 (природний газ) 0,13 (рідке паливо) 0,27 (рідке паливо)	228,0– 944,0	66,8–121,2
	СКВ	0,04 (природний газ) 0,05 (рідке паливо) 0,11 (рідке паливо)	324,0– 940,0	204,0–259,2
Водотруб- ний, що по- стачається розсіпом/ 88 МВт/при- родний газ, рідке паливо	ОНП+ППВП (BOOS)	0,27 (природний газ)	26,0	13,2
	НЕП	0,22 (природний газ) 0,18 (рідке паливо) 0,34 (рідке паливо)	692,0– 1132,0	135,2–204,4

<sup>a</sup> Середнє арифметичне наданих фактичних рівнів викидів NO<sub>x</sub>. Нормативні показники відсутні.

<sup>b</sup> Розраховано при значенні коефіцієнта використання потужності 0,66. Загальне річне число годин роботи – 5460 при номінальній потужності котла.

Таким чином:

- наявність меж зміни капітальних і експлуатаційних витрат говорить про те, що першоджерела повідомляють про більш ніж одному варіанті витрат, які потім в розрахунках екстраполювалися на певну потужність котла;
- цифри, що повідомляються, про капітальні витрати на установку технологій контролю  $\text{NO}_x$  можуть в деяких випадках відрізнятися один від одного більш ніж на два порядки.

При застосуванні ОНП+ВВ технології зниження викидів  $\text{NO}_x$  у жаротрубному котлі тепловою потужністю 3 МВт, що працює на природному газі, капітальні витрати на цю технологію складає 328 тис. грн./МВт, тобто у 2 рази менше ніж при застосуванні ОНП+РДГ технології (720 тис. грн./МВт). В той же час, зниження емісії  $\text{NO}_x$  при роботі ОНП+ВВ технології (до  $C_{\text{NO}_x} = 0,13$  кг/Гкал) у 1,8 разів менше ніж при роботі ОНП+РДГ технології (до  $C_{\text{NO}_x} = 0,07$  кг/Гкал).

Розрахункові сукупні річні витрати на 1 МВт також значно відрізняються, практично в 2 рази – більші при використанні ОНП+РДГ технології.

Технічне переоснащення водотрубного котла тепловою потужністю 15 МВт, що працює на природному газі застосуванні СКВ технології дало найбільш вагомий результат зниження викидів  $\text{NO}_x$  (до  $M_{\text{NO}_x} = 0,04$  кг/Гкал), тобто майже в 3 рази ефективніше ніж застосування ОНП+ВВ технології, НЕП та НЕП+РДГ, але капітальні витрати при роботі СКВ в середньому в 4 рази більше. Однак при використанні НЕП+РДГ капітальні затрати на одиницю потужності котла практично однакові. В той же час сукупні річні витрати на роботу СКВ технології у 3 рази більші ніж при роботі НЕП+РДГ та НЕП технологіями.

Навіть випадки використання систем селективного каталітичного відновлення (СКВ) характеризуються широкими межами зміни вартісних показників.

Дані, отримані від продавців і монтажників даної технології, говорять про те, що система селективного каталітичного відновлення, як мінімум, може коштувати від 328,0 тис. грн./МВт до 940,0 тис. грн./МВт для порівняно невеликих газових промислових котлів потужністю 15 МВт і до 272,0 тис. грн./МВт у випадках з енергетичними котлами еквівалентної потужності [10].

Оцінки вартісних показників, виконані для енергетичних котлів, свідчать, що вартість систем селективного каталітичного відновлення,

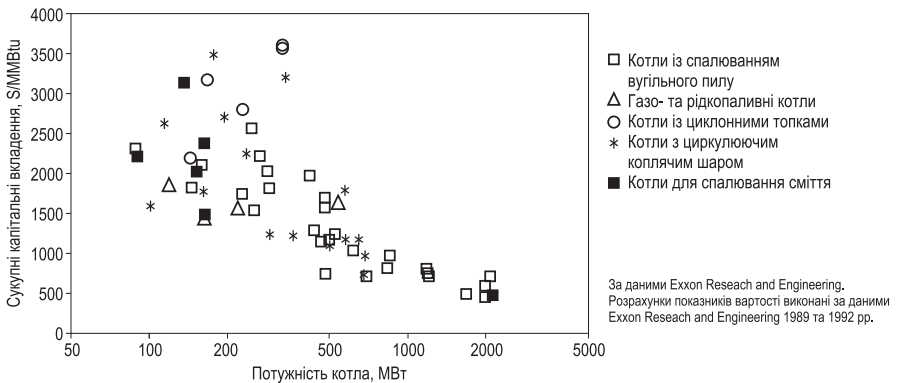
завдяки вдосконаленню технології і ринкової конкуренції, знизилася, що розповсюджується і на промислові котли.

При впровадженні систем селективного некаталітичного відновлення (СНКВ) з'ясувалося, що капітальні витрати на них виявилися цифрами того ж порядку, що і капітальні витрати при впровадженні низькоемісійних пальників і рециркуляції димових газів (РДГ).

На рисунку представлені фактичні і проектні капітальні витрати для котлів різних типів.

Ці цифри підготовлені компанією Exxon Research and Engineering для устаткування, що знов вводиться і реконструйованого, – промислових і енергетичних котлів потужністю більше 74 МВт, споживаючих різне паливо [11, 12].

Ці дані свідчать про експоненціальне збільшення капітальних витрат при зменшенні одиничної потужності котла. Потужність, вказана на осі абсцис, побудована на логарифмічній шкалі.



**Рисунок.** Сукупні капітальні витрати, надані компанією Exxon для систем некаталітичного відновлення для промислових котлів різної потужності.

## Висновки

Використання СКВ технології по зниженню викидів  $\text{NO}_x$  найбільш ефективно і складає до 80% зниження. В той же час капітальні і сукупні витрати на переобладнання котлів працюючих на природному газі значно перевищують витрати на вище наведені технології.

Капітальні витрати на некаталітичне відновлення технологій зниження викидів  $\text{NO}_x$  експоненціально збільшуються при зменшенні одиничної потужності котлів.

## Список використаної літератури

1. Technical Support Document for a Suggested Control Measure for the Control of Emissions of Oxides of Nitrogen from Industrial, Institutional, and Commercial Boilers, Steam Generators, and Process Heaters. (California ARB, 1987) Statewide Technical Review Group, California Air Resources-Board. Sacramento, CA, April 1987. P. 73–81.
2. Devitt T. et al. (PEDCo Environmental Inc.). Population and Characteristics of Industrial/Commercial Boilers in the U.S. Publication No. EPA-600/7-79-178a. Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, Research. Triangle Park, NC. August 1979. P. 48–51.
3. Bowen M. and M. Jennings. (Radian Corp.). Costs of Sulfur Dioxide, Panicate Matter, and Nitrogen Oxide Controls on Fossil Fuel Fired Industrial Boilers. Publication No. EPA-450/3-82-021. Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC August 1982. P. 68–72.
4. Damon J. et al. (United Engineers and Constructors). Updated Technical and Economic Review of Selective Catalytic NO<sub>x</sub> Reduction Systems. Proceedings: 1987 Symposium on Stationary Combustion NO<sub>x</sub> Control. Publication No. EPRI CS-5361 U.S. Environmental Protection Agency/Electric Power Research. Institute. Palo Alio, CA. August 1987. P. 31–38.
5. Letter and attachments from Dean H., Hugh Dean & Co., Inc., to Votlucka P., South Coast Air Quality Management District. Cost Analyses of FGR Retrofit to Natural-gas-fired Firtube Boilers, January 15, 1988. P. 15–19.
6. Current Prices Estimated. Energy User News. April 1991. P. 28–32.
7. Makansi, J. Ammonia: It's Coming to a Plant Near You. Power. May 1992. P. 11–16.
8. Grant E. et al. Principles of Engineering Economy. John Wiley & Sons, New York, NY. 1982. P. 34–41.
9. Letter and Attachments from Marx, W., CIBO, to Seu S., Acurex Environmental Corporation. NO<sub>x</sub> Control Technology Costs. June 12, 1992. P. 6–8.
10. Alternative Control Techniques Document-NO<sub>x</sub> Emissions from Utility Boilers. Publication No. EP – 453/R-94-023, U.S. Environmental Protection Agency. Office of Air Quality Planning and Standards. Eesearch Triangle Park, NC March 1994. P. 18–22.
11. Letter and attachments from G, A. Haas, Exxon Research and Engineering Company, to B. Jordan, U.S. EPA, QAQPS, Durham, NC, Control Technologies Questionnaire. February 18, 1993. P. 13–19.
12. Bodylski J. A. and G. A. Haas. The Selective Non-Catalytic Reduction (SNCR) Process: Experience with Exxon Thermal DeNO<sub>x</sub> Process at Two Circulating Fluidized Bed Boiler Commercial Applications. Presented at the American Flame Research Committee 1992 Fall International Symposium on Emission Reduction and Energy Conservation Progress in Combustion Technology. Cambridge, MA, October 1992. P. 22–26.



**О. Є. Маляренко<sup>1</sup>, Н. П. Іваненко<sup>1</sup>, В. В. Горський<sup>1</sup>,  
Т. О. Євтухова<sup>1,2</sup>, В. С. Коберник<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ*

<sup>2</sup>*Міжрегіональна академія управління персоналом, м. Київ*

## **МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ ЗІ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРУ**

Проблеми стану довкілля є найактуальнішими у світі. В Україні вони особливо загострилися під час воєнних дій, що тривають з 2014 року. Викиди забруднюючих речовин, на відміну від парникових газів, спричинюють локальний ефект, тому міжнародні угоди у цій царині ухвалюються на рівні Європи. На національному рівні в Україні наразі діє Закон України «Про охорону атмосферного повітря» [1] з 1992 року зі змінами, чинними з 01.10.2023 р. Наша країна є підписантом низки міжнародних документів, що обмежують обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферу, зокрема Директиви 2010/75/ЄС «Про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю)» [2], Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами у 2014 р. [3], Договору про заснування Енергетичного Співтовариства [4], Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані [5]. Для реалізації Директиви 2010/75/ЄС був розроблений Національний план скорочення викидів забруднюючих речовин від великих спалювальних установок у 2017 р. [6], який обмежить граничні обсяги викидів SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> і пилу після 31.12.2033 р. Для здійснення діяльності, що призводить до викидів забруднюючих речовин (ЗР) в атмосферу в Україні необхідно отримати дозвіл на викиди в атмосферу спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів за погодженням з територіальним органом спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань охорони здоров'я. Крім цього діяльність підприємства потребує не тільки енергетичної, а й екологічної

звітності своєї діяльності. Для обмеження викидів ЗР в атмосферу в Україні згідно з «Податковим кодексом України» [7] введено ставки податку за викиди в атмосферне повітря окремих забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення. Зокрема, за викиди 1 тонни оксиду азоту ( $\text{NO}_x$ ) та сірчистого ангідриду ( $\text{SO}_2$ ) сплачується податок за кожну речовину в розмірі 2574,43 грн., за викиди 1 тонни твердих речовин ставка податку складає 96,99 грн. Для порівняння у США існує система торгівлі викидами  $\text{SO}_2$  і  $\text{NO}_x$  в рамках Програм кислотних дощів з 1995 р. У 2022 р. ціна на дозвіл викидів  $\text{SO}_2$  складає близько 35 \$ США/т,  $\text{NO}_x$  – 8,5 \$ США/т [8]. В ЄС встановлюються ліміти на викиди ЗР, за їх перевищення встановлюються штрафи [9].

Аналіз динаміки викидів ЗР в Україні за даними Державної служби статистики у 2013–2021 рр. показує, що за цей час загальні викиди ЗР суттєво зменшились [10]. Це скорочення пов'язане зі зменшенням споживання вугілля та інших вуглеводневих палив на користь відновлюваних джерел енергії, а також з впровадженням та дотриманням екологічних стандартів. В Україні лідерами по споживанню палива та, відповідно, по обсягах викидів забруднюючих речовин за викидами  $\text{NO}_x$  є наступні секції економіки за КВЕД [11]: D «Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря», С «Переробна промисловість», В «Добувна промисловість і розроблення кар'єрів» та Н «Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність»; за викидами  $\text{SO}_2$  – D, С і В; за викидами твердих частинок – D, С, А «Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство» та Н.

Значний науковий та практичний внесок у розроблення технологій та обладнання для зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу зроблено вченими Інституту газу НАН України під керівництвом д-ра техн. наук, проф. І. Я. Сігала та його учнями і послідовниками. У колективній монографії вчених цього закладу [12] наведено порівняння викидів основних забруднюючих речовин від об'єктів енергетики України і норми ЄС. Це порівняння показує значне перевищення вітчизняними енергетичними установками європейських норм.

Фахівцями Інституту газу НАН України розроблено цілу низку технологій і пристроїв (пальників) для зниження викидів ЗР в атмосферу. Зокрема, для очищення димових газів від твердих частинок пропонуються електрофільтри українського виробництва або рукавні фільтри, мокрі золоуловлювачі з трубами Вентурі чи їхня комбінація (виконана оцінка ефективності застосування даного обладнання). Для очищення димових газів від оксидів сірки пропонуються наступні тех-

нології: подача сорбенту у топкову камеру; поглинання оксидів сірки лужною водою; технології із високим ступенем очищення та значними капітальними витратами (97–99%): мокра вапнякова технологія, аміачно-сульфатна технологія, сульфатно-магнієва технологія; технології з використання існуючого обладнання ТЕС та значними експлуатаційними витратами (60%): спрощена мокро-суха вапнякова технологія, ін. Для зменшення утворення та очищення димових газів від  $\text{NO}_x$  в залежності від типу спалюваного у котлах палива пропонується низка ефективних технологій. Для котлів, що спалюють вугілля: двох і трьохступеневе спалювання у топці, модернізація пальникових пристроїв, спалювання вугілля у котлах із ЦКШ, подача пари в топку вугільного котлоагрегата, селективне каталітичне відновлення димових газів. Для котлів, що спалюють рідкі та газові палива пропонується двохступеневе топкове спалювання, рециркуляція димових газів у топкову камеру, зменшення надлишку повітря, розосередження зони горіння в об'ємі топки та підвищення швидкості охолодження факела, зниження підігріву повітря, зменшення навантаження котлоагрегатів, вприскування води або пари та ін. [12]. Для наведених технологій виконано оцінку їх енергетичної та екологічної ефективності.

Перехід на відновлювані джерела енергії, де це є можливим, із заміщенням вугілля, нафтопродуктів та газу сонячною, вітровою та геотермальною енергією, біопаливом, зокрема в системах децентралізованого теплозабезпечення, є дуже ефективним напрямом скорочення викидів ЗР в атмосферу. Сприятиме зниженню викидів ЗР в атмосферу також використання екологічно чистих транспортних засобів, зокрема міського електротранспорту з низькими викидами забруднюючих речовин за умови виробництва електроенергії з відновлюваних джерел або транспорту на водні.

Як підсумок можна визначити, що зниженню викидів ЗР будуть сприяти впровадження енергоощадних технологій, технологій з очищення димових газів та технологій із заміщення органічного палива відновлюваними джерелами енергії та палива (деревина, пелети, ін. біопаливо).

Стимулюванню вкладання інвестицій в «зелені» технології буде сприяти надання податкових пільг та субсидій для підприємств, які впроваджують екологічно чисті технології, розвиток інфраструктури для відновлюваних джерел енергії за рахунок підтримки будівництва електростанцій, що працюють на відновлюваних джерелах, створення фінансових інструментів для підтримки екологічних проєктів, зокрема,

впровадження «зелених» облигацій та кредитних програм. Важливим також є розвиток освіти та підвищення обізнаності громадськості щодо необхідності скорочення викидів ЗР і підтримки екологічних ініціатив.

В Інституті загальної енергетики НАН України багато років розробляються імітаційні математичні моделі прогнозування попиту на енергетичні ресурси для різних ієрархічних рівнів економіки. Для визначення ефективності заходів з енергозбереження у минулі роки нами була запропонована комплексна оцінка заходів з енергозбереження, що включає показники енергетичної (максимум зниження показника енергоємності виробництва), екологічної (максимум зниження питомих викидів в атмосферу) та економічної ефективності (максимальний економічний ефект) при порівнянні технологій [13]. На відміну від цієї оцінки нами пропонується нова комплексна оцінка природоохоронних заходів зі зниження викидів ЗР (які не є енергоощадними), що включає у першу чергу екологічні показники (відповідність обсягів викидів твердих частинок, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> нормативам ЄС згідно з діючою Директивою 2010/75/EU) для аналізу варіантів технологій та обладнання щодо зниження викидів ЗР; економічні показники (капітальні вкладення, термін окупності додаткових капітальних вкладень, зниження податку за викиди в атмосферу внаслідок впровадження екологічних заходів) – для економічної оцінки варіантів очищення димових газів від викидів ЗР; енергетичні показники – для оцінки додаткових енерговитрат на функціонування очисного обладнання чи реалізацію заходу. Критерієм вибору природоохоронного заходу є мінімізація сумарних витрат на очисне обладнання та додаткові енерговитрати на його функціонування за різних варіантів.

### Список використаної літератури

1. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» №2707-ХІІ від 16.10.1992 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text>
2. Директива 2010/75/ЄС «Про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю)». URL : [https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/%202010\\_75\\_%D0%84%D0%A1.pdf](https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/%202010_75_%D0%84%D0%A1.pdf)
3. Угода про асоціацію між Україною та ЄС (ЗУ № 1678-VII від 16.09.2014). URL : [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text)
4. Договір про заснування Енергетичного Співтовариства. URL : [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_926](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_926)
5. Конвенція про транскордонне забруднення повітря на великій відстані. URL : [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_223#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_223#Text)
6. Національний план скорочення викидів забруднюючих речовин від великих спалювальних установок. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/go/1704-IX>

7. Податковий кодекс України № 2755-VI, поточна редакція від 01.08.2024  
URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text>

8. EPA Progress Report – Program Compliance and Market Activity. URL :  
<https://www.epa.gov/power-sector/progress-report-program-compliance-and-market-activity>

9. Level of ambition with respect to SO<sub>2</sub>, Dust and NO<sub>x</sub> emission levels in the LCPD, the IPPCD and the IED. URL : <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/level-of-ambition-with-respect>

10. Державна служба статистики України. <https://www.ukrstat.gov.ua/>

11. Класифікація видів економічної діяльності (КВЕД-2010).  
[https://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/kv10\\_i.html](https://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/kv10_i.html)

12. Технології зниження шкідливих викидів до атмосфери тепловими електростанціями та котельними великої і середньої потужності України : монографія / А. В. Сміхула, І. Я. Сігал, Б. І. Бондаренко, Н. І. Семенюк. Київ : ФОП Маслаков, 2019. 108 с.

13. Кулик М. М., Маляренко О. Є., Майстренко Н. Ю., Станиціна В. В., Куц Г. О. Енергоефективність та прогнозування енергоспоживання на різних ієрархічних рівнях економіки: методологія, прогнозні оцінки до 2040 року. Київ : НВП «Видавництво “Наукова думка” НАН України». 2021. 234 с.

УДК 662.61,536.24:533

**Н. М. Фіалко, Р. О. Навродська, Г. О. Гнедаш,  
С. І. Шевчук, Г. О. Сбродова**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕКОЛОГОЕФЕКТИВНИХ ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОТЛІВ**

Одним із джерел забруднення довкілля є паливоспоживальні енергетичні об'єкти, експлуатація яких дуже впливає на екологічну безпеку навколишнього середовища [1]. Серед напрямів зменшення цього забруднення особливо вирізняється напрям, пов'язаний зі зниженням викидів оксидів азоту з вихідними газами котельних установок. Важливим шляхом у цьому напрямі є зниження емісії оксидів азоту в топці котла завдяки пригніченню їх утворення при зменшенні температури горіння [2, 3]. Вказане пригнічення реалізується, зокрема, у разі застосування способу рециркуляції частини відхідних димових газів в топ-

ковий простір котла. Найбільшого поширення при застосуванні цього способу набуло введення димових газів рециркуляції в суміші з дуттьовим повітрям [2, 3].

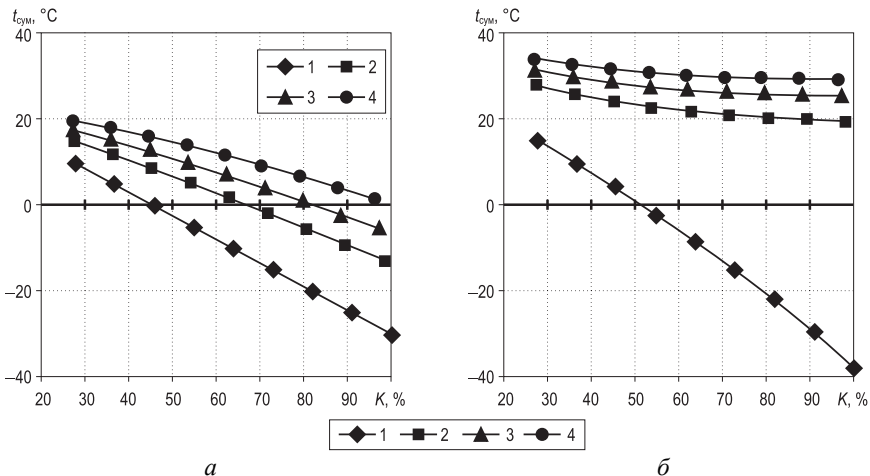
Даний спосіб є досить апробованим на котлах великої потужності, які зазвичай комплектуються повітропідігрівачами. Використання ж рециркуляції димових газів у дуттьове повітря для опалювальних котлів відносно невеликої потужності проблематично в плані забезпечення роботоздатності котельної установки в деяких її режимах протягом опалювального періоду. Так, у разі змішування відхідних газів котла з дуттьовим повітрям, що надходить зовні, відбувається підвищення вологовмісту повітрогазової суміші і за низьких температур навколишнього середовища відбувається випадення конденсату і навіть обмерзання внутрішньої поверхні у підвідних до котла повітропроводах та у дуттьовому вентиляторі. Дана робота, присвячена дослідженню тепловологісного стану у повітропроводах котла за умов застосування рециркуляції димових газів у дуттьове повітря.

Дослідження виконувались в різних режимах експлуатації опалювального котла та за різних часток підмішування димових газів у дуттьове повітря. Розглядалося застосування способу рециркуляції для газотрубного опалювального котла КСВа-2,0Г номінальною теплопродуктивністю 2 МВт, що працює на природному газі. Котел використовувався для системи опалення з розрахунковою температурою навколишнього середовища  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  і температурним перепадом теплоносія  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . ККД котла за нижчою теплоотою згоряння палива становив 92%. Температура відхідних газів у номінальному режимі дорівнювала  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Обсяг рециркульованих газів змінювався від 10 до 20%, а відносна теплова продуктивність котла  $K$  – від 100 до 30% відповідно до підвищення температури атмосферного повітря від  $-30$  до  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  згідно з тепловим графіком котельні.

Визначалися температура  $t_{\text{сум}}$  повітрогазової суміші (дуттьового повітря та газів рециркуляції) та її точка роси  $t_{\text{сум}}^{\text{р}}$  в різних режимах котла в залежності від температури навколишнього середовища. Рисунок ілюструє закономірності зміни відносного теплового навантаження  $K$  котла температур  $t_{\text{сум}}$  та  $t_{\text{сум}}^{\text{р}}$  за різних часток  $\sigma$  рециркульованих газів.

Наведені на рисунку дані свідчать, що температура суміші  $t_{\text{сум}}$  змінюється в межах від  $-17$  до  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а точка роси  $t_{\text{сум}}^{\text{р}}$  цієї суміші – від  $+20$  до  $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$  в залежності від режиму експлуатації котла і частки  $\sigma$ . Як видно з поданих графіків, температури  $t_{\text{сум}}$  і  $t_{\text{сум}}^{\text{р}}$  підвищуються зі

зростанням частки рециркуляції газів  $\sigma$ . Отримані дані свідчать також, що в усіх режимах котла реалізуються сприятливі умови для випадення конденсату на внутрішніх поверхнях повітроводів та у вентиляторі.



**Рисунок.** Залежність від відносного навантаження котла  $K$  температури  $t_{\text{сум}}$  (а) повітрягазової суміші та її точки роси  $t_{\text{сум}}^p$  (б) за різних часток  $\sigma$  рециркульованих газів:  
1 –  $\sigma = 0\%$ ; 2 –  $10\%$ ; 3 –  $15\%$ ; 4 –  $20\%$ .

В деяких режимах температура суміші приймає від'ємні значення. Так, зниження температури суміші  $t_{\text{сум}}$  нижче  $0^\circ\text{C}$  за часток  $\sigma = 10\%$  відбувається при відносному навантаженні котла  $K > 70\%$ . За умови  $\sigma = 15\%$  це навантаження відповідає  $K > 80\%$ , а при  $\sigma = 20\%$  від'ємні значення  $t_{\text{сум}}$  на графіках рисунку не спостерігаються. Отримані результати досліджень вказують також, що для запобігання конденсаутворенню і обмерзанню повітряних комунікацій температура повітрягазової суміші повинна бути вищою щонайменше на  $\Delta t_{\text{сум}} = 13 \dots 35^\circ\text{C}$  (без урахування втрат теплоти з поверхні повітроводів).

Отже, за результатами виконаних досліджень можна зробити висновок, що експлуатація розглянутих котельних установок без повітрянагрівачів характеризується умовами, сприятливими для конденсаутворення в повітропідвідних комунікаціях котельної установки в усіх її режимах. Обмерзання ж цих комунікацій при їх розміщенні зовні котельні відбуватиметься за від'ємних температур навколишнього середовища. Забезпечення роботоздатності розглянутої котельної уста-

новки потребує розробки спеціальних заходів, що забезпечують перевищення температури суміші  $t_{\text{сум}}$  рециркульованих газів і повітря над точкою роси  $t_{\text{сум}}^{\text{р}}$ . Одним із таких заходів може бути використання теплообмінників для попереднього підігрівання повітря перед надходженням його до змішування з газами рециркуляції. Цими теплообмінниками можуть слугувати повітрянагрівачі-теплоутилізатори систем теплоутилізації котельних установок з комбінованим використанням утилізованої теплоти для нагрівання зворотної тепломережної води та дуттьового повітря [4]. У даних повітропідігрівачах повітря нагріватиметься шляхом охолодження відхідних газів котла в процесі теплоутилізації. Рівень підігрівання повітря та рівень охолодження газів повинен забезпечувати відсутність конденсатоутворення у повітропроводах та вентиляторі котельних установок при застосуванні способу рециркуляції димових газів у дуттьове повітря. Для запобігання конденсатоутворенню в газовідвідних трактах котельних установок при поглибленому охолодженні димових газів повинні застосовуватись відповідні теплові методи [5].

Другим заходом, що забезпечуватиме підвищення надійності котельної установки з розглянутим способом екологізації опалювального котла, може слугувати організація відбору гарячих рециркульованих газів з конвективної частини котла. Використання цього заходу є дуже проблематичним через зазвичай заборону розробниками котлів втручання у конструкцію котлоагрегату, оскільки це призводить до порушення процесів теплообміну власне у самому котлі.

Наступним заходом, що може забезпечувати для екологічно ефективних котлів перевищення температури суміші  $t_{\text{сум}}$  рециркульованих газів і повітря над точкою роси  $t_{\text{сум}}^{\text{р}}$ , може слугувати додавання до холодного дуттьового повітря попередньо нагрітого повітря не в системах теплоутилізації котельної установки. Застосування цього заходу можливе за наявності в котельні іншого котла, оснащеного повітрянагрівачем, та за спроможності організації заходу, зважаючи на низку умов. Зокрема, одночасної експлуатації котлів, технічної можливості та економічної доцільності здійснення підведення нагрітого повітря тощо.

Зважаючи на вищевикладене, найбільш прийнятним для розглянутих котельних установок є застосування систем теплоутилізації, оснащених теплоутилізаторами-повітропідігрівачами. Використання даних теплоутилізаторів забезпечуватиме не лише надійну експлуатацію котельних установок підвищеної екологічної ефективності, а і заощадження в них палива.



## Список використаної літератури

1. Плачкова С. Г. Энергетика. История, настоящее и будущее. Книга 5. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире. 2019. URL : <http://energetika.in.ua/ru/books/97-entsiklopediya/elektroenergetika-ta-okhorona-navkolishnogo-seredovishcha-funktsionuvannya-energetiki-u-suchasnomu-sviti/chastina-3-elektroenergetika-ta-okhorona-navkolishnogo-seredovishcha/rozdil-2-vpliv-teploenergetiki-na-navkolishne-seredovishche/271-2-3-metodi-znizhennya-vikidiv-toksichnikh-rechovin-v-atmosferu>
2. Енергозберігаюча технологія зниження викидів оксидів азоту котлами електростанцій і великих котельень. URL : <https://gas-inst.org.ua/2-3-snyzhennya-utvorennya-oksyydiv-azotu-v-kotlah/>
3. Сигал И. Я., Дубоший А. Н., Сигал А. И. & Смихула А. В. Повышение эффективности влияния рециркуляции дымовых газов на снижение выбросов оксидов азота котлами электростанций // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2010. (1). С. 48–52.
4. Комбіновані теплоутилізаційні системи для газоспоживальних котлів комунальної теплоенергетики : монографія / Н. М. Фіалко та ін. Київ : Про формат, 2019. 192 с.
5. Тепловые методы защиты газоотводящих трактов котельных установок : монография / Н. М. Фіалко и др. Киев : Про формат, 2018. 248 с.

УДК 536.46.622.612

**Н. А. Ніжник<sup>1</sup>, Є. Й. Бикоріз<sup>1</sup>, С. В. Плашихін<sup>1,2</sup>,  
Ю. М. Магера<sup>1</sup>, В. І. Селіванов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

<sup>2</sup>*Національний технічний університет України*

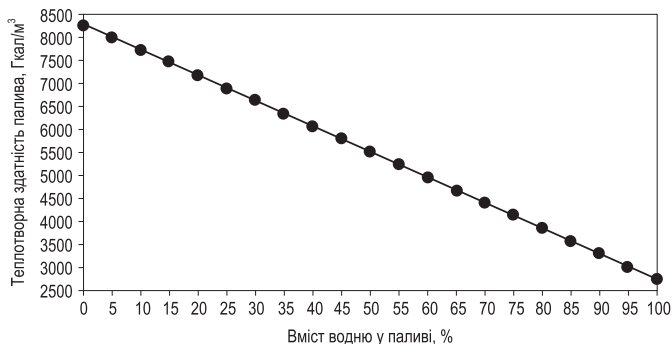
*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ*

## **МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ НА ОБ'ЄКТАХ ЕНЕРГЕТИКИ**

Одним з перспективних напрямків з промислового використання водню є використання його в якості палива на об'єктах енергетики, промислових підприємствах і міських опалювальних котельнях, на яких у найбільшій кількості (серед інших викопних палив) використовується природний газ. Разом з цим необхідно враховувати відмінності в теплотехнічних характеристиках природного газу і водню (різниця

значень калориметричних температур, теплотворних здатностей палив, густин, чисел Воббе тощо).

Усереднене значення теплотворної здатності для водню на одиницю об'єму приблизно втричі менше, аніж для природного газу. Тобто при використанні суміші, яка містить прогнозовані 20–25% водню, теплотворна здатність становитиме вже не 8250 Гкал/м<sup>3</sup>, як це могло бути для чистого метану, а відповідно близько 6875 Гкал/м<sup>3</sup>. На рисунку зображено залежність теплотворної здатності паливної суміші, що містить водень, від його вмісту в одиниці об'єму палива.



**Рисунок.** Залежність теплотворної здатності паливної суміші від вмісту у ній водню.

У таблиці приведені значення теплотворної здатності паливної суміші (CH<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>) залежно від частки водню в її складі. Представлені співвідношення паливних складових «H<sub>2</sub>–CH<sub>4</sub>», які найбільш часто обговорюються в сучасній літературі.

Таблиця

**Залежність теплотворної здатності палива від вмісту у ньому водню**

Характеристики палива		Вміст відповідних компонентів паливної суміші, %						
Складові палива	CH <sub>4</sub>	100	90	80	75	70	50	0
	H <sub>2</sub>	0	10	20	25	30	50	100
Теплотворна здатність паливної суміші, Гкал/м <sup>3</sup>		8250	7700	7150	6875	6600	5500	2750

Так, знижена теплотворна здатність паливної суміші не дає можливості роботи котельного агрегату відповідно до його режимної карти, що неминуче призводить до зниження теплопродуктивності котлоагрегату, і відповідно для відпуску тієї ж кількості теплової енергії потрібна більша об'ємна витрата палива, якщо її дозволяє котел, або введення в експлуатацію додаткового котлоагрегату.

Пропускна здатність котла по об'єму газу є величина постійна, що обумовлена розмірами газоходів котла, швидкістю руху суміші, потужністю тягодуттєвих пристроїв. У випадку зміни теплотворної здатності, необхідно забезпечити відповідну зміну швидкості подачі палива і окисника, адже в протилежному випадку відбудеться проскок полум'я в палиник. При концентрації водню у суміші з природним газом до близько 15%, зміна числа Воббе відбувається в допустимому інтервалі  $\pm 5\%$ ; при вмісті  $H_2$  у суміші з  $CH_4$  понад 15% виникає необхідність заміни палиникових пристроїв.

Енергетичні, технологічні котли і котли опалювальних котелень є джерелами забруднення атмосфери зокрема викидами оксидів азоту. У ряді випадків екологічні показники існуючих котлів за викидами оксидів азоту не відповідають вимогам екологічного законодавства, що посилюються [1], і котли знаходяться під загрозою заборони на їх подальшу експлуатацію.

Метою Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок (НПСВ) [2, 3] є поступове скорочення викидів діоксиду сірки ( $SO_2$ ), оксидів азоту ( $NO_x$ ) та дрібнодисперсного пилу від існуючих великих спалювальних установок (ВСУ), номінальна теплова потужність яких становить 50 МВт і більше.

Як уже зазначено вище, використання водню в якості палива на об'єктах енергетики промислових підприємств і міських опалювальних котелень є одним із перспективних напрямків його використання. Традиційно на таких теплогенераторах найчастіше використовується природний газ.

Супутні процеси, пов'язані з використанням водню у енергетичних процесах, не є простими та безпечними. При розгляді питання розвитку водневих технологій слід зважати на ризики, які несе з собою цей процес.

Сьогодні можливе використання водню в котлах систем теплозабезпечення, а також енергетичних котлоагрегатах, пов'язане з наступними проблемами, які потрібно вирішити перш ніж використовувати водень безпосередньо або як частину паливної суміші на наявному котельному обладнанні:

- Адіабатна температура горіння водню на 160 °С вища, ніж адіабатна температура горіння природного газу.
- Низька теплотворна здатність  $H_2$  на одиницю об'єму близько 2750 ккал/м<sup>3</sup> становить лише третину від значень для природного газу.
- Не вирішені проблеми стабілізації факелу (спостерігається відрив полум'я газо-водневої суміші від сопла пальника).
- Підвищення утворення оксидів азоту за рахунок «термічних  $NO_x$ » при спалюванні водню та водневих сумішей в атмосферному повітрі.
- Швидке зношення матеріалу пальника, а саме завихрювача, через властивість водню підвищувати крихкість металу.
- Організація відводу води з димової труби (захист від корозії).
- Більш жорсткі умови експлуатації котлів, що працюють на водневих сумішах. Водень є більш вибухо- та пожежонебезпечним ніж природний газ: у поєднанні з повітрям водень створює вибухову суміш – гримучий газ. Швидкість розповсюдження полум'я водню в рази вища за ту ж характеристику природного газу, а воднево-кисневе полум'я має адіабатну температуру горіння 2800 °С. Температура спалаху (самозаймання) водню нижча за природний газ.
- Число Воббе для  $H_2$  і  $CH_4$  значно, що зумовлює необхідність зміни конструктиву пальника (допустима різниця у значеннях становить близько  $\pm 5\%$ ).

### **Висновки**

При зміні теплотворної здатності, необхідно забезпечити відповідну зміну швидкості подачі палива і окисника, адже в протилежному випадку відбудеться проскок полум'я в пальник.

При концентрації водню у суміші з природним газом до близько 15%, зміна числа Воббе відбувається в допустимому інтервалі  $\pm 5\%$ ; при вмісті  $H_2$  у суміші з  $CH_4$  понад 15% виникає необхідність заміни пальникових пристроїв.

### **Список використаної літератури**

1. The fifth District Heating generation, a solution for the future urban. (2020). URL : <https://www.araner.com/blog/fifth-district-heating-generation>
2. Карп І. М., Нікітін Є. Є., П'яних К. Є., Сігал О. І., Дубовський С. В. та ін. Стан та шляхи розвитку СЦТ в Україні. Кн. 1. Київ : Наук. думка, 2021. 264 с.
3. Ковтун Г., Полункін Є. Перспективи водневої енергетики // Вісн. НАН України. 2007. № 4. С. 12–18. URL : <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/433/a2-4.pdf?sequence=1>

## **ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ СПАЛЮВАННЯ МЕТАНУ ПРИ ДОДАВАННІ РОЗЧИНІВ ПЕРЕКИСУ ВОДНЮ**

Країни ЄС, США, Канада, Японія, Китай також вже понад 40 років цікавляться можливостями, які дає водень ( $H_2$ ). Також вже зараз пропонуються різні способи використання водню в енергетиці – світова практика показує позитивні результати при додаванні до 25% водню до природного газу при його транспортуванні та спалюванні, водневі технології застосовуються для акумуляції та передачі «зеленої» енергії тощо.

Разом з цим існує ряд невирішених технічних задач, які пов'язані з процесом спалювання чистого водню. Проблематика використання водню в енергетичних цілях у спалювальних установках пов'язана з характеристиками його як палива, зокрема з необхідністю створення належних режимів його спалювання і необхідністю зміни конструктивних елементів традиційних пальників та топок.

Одним з найбільших проблемних питань є досягнення можливості використання водню у процесах спалювання на наявному котельному обладнанні, основною з яких є висока адіабатна температура горіння водню – на  $160^\circ$  вища, ніж адіабатна температура горіння природного газу.

В Інституті технічної теплофізики НАН України було створено експериментальний стенд для дослідження впливу вологи на утворення токсичних речовин при горінні газоподібного палива, та проведено кілька серій експериментів з його використанням (рис. 1).

Дослідження присвячені питанню утворення оксидів азоту при введенні водних розчинів перекису водню ( $H_2O_2$ ) в зону горіння, а також розгляду питання використання водню для утворення синтетичного метану при взаємодії водню та діоксиду вуглецю з подальшим його використанням в котлоагрегатах.

В експериментальних дослідженнях основна увага була приділена вимірюванню максимальної локальної температури і відповідних концентрацій оксидів азоту в «сліді» краплі.

Дослідження, проведені на експериментальному стенді, описаному в попередньому розділі, показали (рис. 2, а, рис. 2, б), що введення вологи знижує утворення оксидів азоту на 30–50% (рис. 2, а) при зниженні температури горіння на  $\sim 200\text{--}250^\circ$  (рис. 2, б). Порівняння результатів при введенні однієї і двох крапель у відповідну зону полум'я показало, що суттєвої зміни вмісту оксиду азоту з введенням додаткової майже двократної кількості води (яка в даному випадку є баластом) не відбувається.

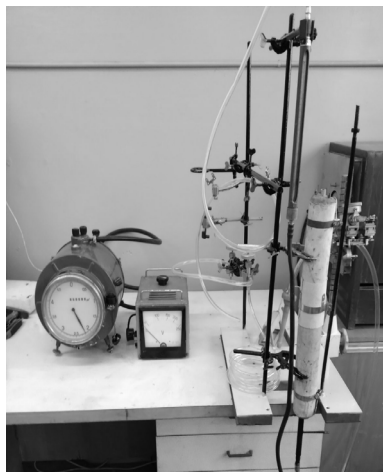
Введення однієї краплі знижує максимальну локальну температуру в зоні горіння на близько  $200^\circ$ , тому подальше зниження температури згідно з теорією Д. І. Франк-Камецького і не повинно вести до суттєвої зміни концентрації NO.

Відокремлені вимірювання концентрацій NO і NO<sub>2</sub> показали, що залежність частки NO<sub>2</sub> від вмісту H<sub>2</sub> у розчині, що подається до ламінарного факелу метану, є неоднозначною і істотно залежить від місця відбору проби в перерізі фронту полум'я.

Важливим також є факт, що ступінь дії водню у розчині перекису водню на процес доокислення NO в NO<sub>2</sub> для різних температур має свій екстремум по концентрації речовини, що вводиться. З рис. 3 видно, що цей максимум концентрації NO<sub>2</sub> спостерігається для вмісту H<sub>2</sub> у розчині близько 10,4%.

Можна зробити висновок, що найсприятливішими умовами доокислення NO в NO<sub>2</sub> є введення водню з вмістом близько 10,3% у вигляді розчину перекису водню, у температурному інтервалі 800–1000 К. Цим умовам найбільш відповідає заповум'яна область (а не фронт полум'я). Ці твердження наразі додатково вивчаються.

При підвищенні частки водню у паливі, що спалюється в топці котла з урахуванням наявності вологи в дуттьовому повітрі буде зростати концентрація NO<sub>2</sub>, відповідно частка NO зменшиться.

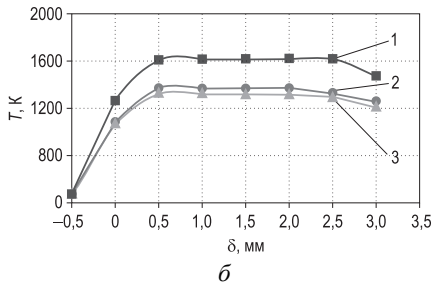
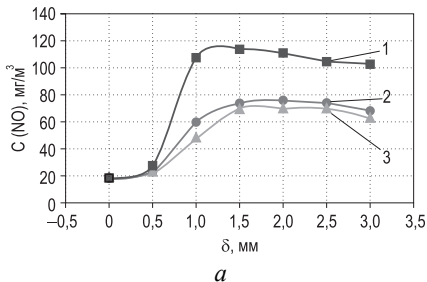


а

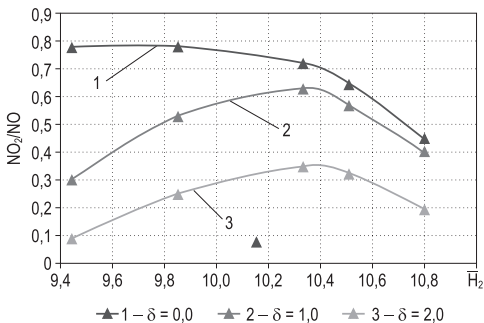


б

**Рис. 1.** Експериментальний стенд для проведення досліджень: а – фото установки; б – система подачі краплинної вологи у фронт полум'я.



**Рис. 2.** Утворення оксидів азоту (а) та температура (б) по ширині фронту полум'я ламінарного факелу метану (1), при внесенні 1 краплі води (2) та 2 крапель (3).



**Рис. 3.** Вплив вмісту водню у розчині на утворення  $\text{NO}_2$  у фронті полум'я ламінарного факелу метану:

1 – передня межа фронту, координата  $\delta = 0,0$  мм; 2 – середній переріз фронту, координата  $\delta = 1,0$  мм; 3 – задня межа фронту, координата  $\delta = 2,0$  мм.

Цей ефект збільшення частки  $\text{NO}_2$  може бути використаний для зменшення викидів оксиду азоту в атмосферу шляхом очищення димових газів в контактних апаратах, тобто абсорбції  $\text{NO}$  та  $\text{NO}_2$  водою. Відомо, що  $\text{NO}_2$  повністю розчиняється у воді, а частка розчинення  $\text{NO}$  не перевищує 7% та залежить від температури і наявності домішок, що інтенсифікують процес.

Введення водню у розчинах в зону горіння може здійснюватися кількома способами і, зокрема, у вигляді крапель рідини, як було показано в роботі.

**Висновки.** Однією з причин суперечності даних про вплив вологи на утворення оксидів азоту в топках паливоспалювальних установок є різноманіття факторів, що впливають на процес горіння у промислових умовах. Зміна режимних параметрів, конструктивні особливості агрегатів і навіть різні методи контролю призводять до того, що введення вологи здійснюється в різних умовах, що не дає змоги з'ясувати основні закономірності взаємодії вологи з фронтом полум'я. Проведені раніше стендові дослідження дозволили виявити деякі особливості складного процесу взаємодії вологи з різними компонентами в зоні горіння.

**Н. М. Фіалко, Н. О. Меранова, Ю. В. Шеренковський, А. В. Кліщ,  
С. О. Альошко, В. Г. Прокопов, М. З. Абдулін, Н. П. Полозенко,  
О. М. Кутняк, Н. М. Ольховська**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ЗАКОНОМІРНОСТІ ТЕЧІЇ В ПАЛЬНИКАХ З ТРИРЯДНОЮ ПАЛИВОПОДАЧЕЮ**

Поява перспективних модифікацій пальникових пристроїв зумовлює необхідність запровадження всебічних досліджень робочих процесів цих пальників. В даній статті розглядається одна з таких модифікацій з трирядною подачею паливного газу. Такі пальникові пристрої призначені для експлуатації за умов різних значень коефіцієнта надлишку повітря.

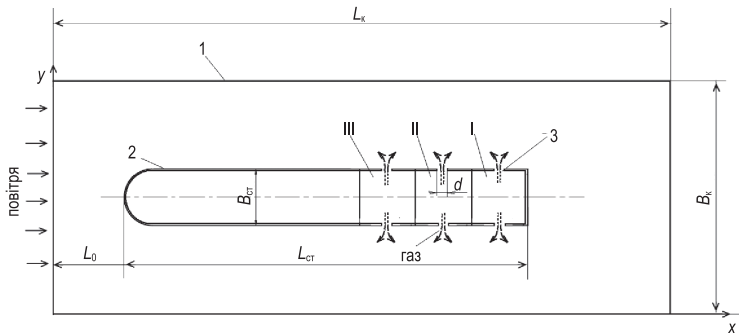
Особливої уваги потребують дослідження аеродинаміки вказаних пальників, оскільки закономірності течії в них значною мірою визначають остаточний технологічний результат. При цьому як свідчить аналіз, все більше поширення для дослідження таких процесів набуває комп'ютерне моделювання [1–30].

**Постановка задачі.** В роботі дослідженню підлягали процеси течії у пальнику з трирядною подачею паливного газу.

Пропонований пальниковий пристрій складається з окремих модулів. Необхідна потужність таких пристроїв забезпечується шляхом набору певної кількості модулів. В окремому модулі плоский стабілізатор полум'я 2 розміщується в каналі 1 (рис. 1). Паливний газ підводиться до стабілізатора полум'я через одну із трьох окремих секцій I, II, III. У першу секцію газ подається при коефіцієнті надлишку повітря  $\alpha$ , що дорівнює 1,1, у другу секцію при  $\alpha = 1,3$  і у третю – при  $\alpha = 1,5$ . Кожній секції відповідає розташована на бічній поверхні стабілізатора система круглих газоподавальних отворів 3. Через ці отвори паливний газ надходить у зносячий потік окиснювача безпосередньо на горіння.

Як метод дослідження застосовувалося CFD моделювання з використанням пакету FLUENT. При цьому зважаючи на геометричну симетрію паливного модуля і симетрію фізичних процесів відносно осі міжстабілізаторного каналу, розгляду підлягала область, що відповідає половині модуля.



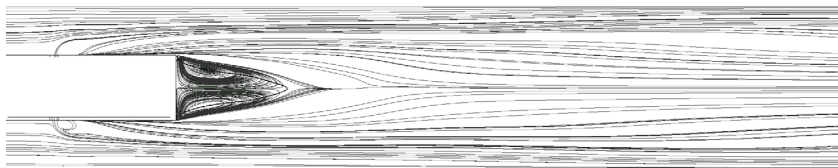


**Рис. 1.** Схема модуля паливкового пристрою стабілізаторного типу з трирядною системою паливоподачі:  
 1 – плоский канал; 2 – стабілізатор полум'я; 3 – газоподавальні отвори; I, II, III – секції газоподачі з різними значеннями відносного кроку розташування отворів, що відповідають різним значенням коефіцієнта надлишку повітря.

**Результати досліджень.** Характерні результати CFD моделювання наведено на рис. 2 та в таблиці. Моделювання виконано при таких вихідних даних:  $B_{ст} = 0,03$  м;  $B_k = 0,075$  м;  $L_k = 1,3$  м;  $L_0 = 0,1$  м;  $L_{ст} = 0,2$  м;  $d = 2,5 \cdot 10^{-3}$  м. Відстань  $L_1$  між зривною кромкою стабілізатора і першим, другим і третім рядом газоподавальних отворів  $L_1 = 10 \cdot 10^{-3}$  м;  $20 \cdot 10^{-3}$  м;  $30 \cdot 10^{-3}$  м; коефіцієнт загромадження прохідного перерізу каналу  $k_f = 0,4$  ( $k_f = B_{ст}/B_k$ ); швидкість повітря на вході до каналу  $U_{вх}^n = 10$  м/с; інтенсивність турбулентності  $Tu$  у вхідному перерізі каналу  $Tu = 3\%$ . Як паливо використовувався природний газ, як окиснювач – повітря.

На першому етапі досліджень ставилася задача визначення раціональних конструктивних параметрів системи паливоподачі пропонуваніх пальників. Вказана задача конкретизувалася таким чином. В закормовій області стабілізатора полум'я мали забезпечуватися сприятливі умови сумішоутворення, необхідні для стабілізації факела. Такими сприятливими вважалися умови, за яких у зоні зворотних токів за стабілізатором полум'я середня концентрація метану дорівнює із заданою точністю середньому значенню між верхньою і нижньою концентраційними межами займання. В таблиці наведено результати досліджень з визначення раціональних конструктивних параметрів системи паливоподачі згідно з вищевказаним підходом.

Як видно з таблиці, раціональне значення відносного кроку розташування газоподавальних отворів  $S/d$  зростає зі збільшенням номеру ряду паливоподачі, а діаметр цих отворів – зменшується.



**Рис. 2.** Картина ліній току у поздовжньому перерізі стабілізатора полум'я, що проходить через вісь газоподавальних отворів, при  $\alpha = 1,5$ ;  $L_1 = 60 \cdot 10^{-3}$  м.

Таблиця

**Рациональні конструктивні параметри системи трирядної струменевої подачі палива та довжина зони зворотних токів  $L_{ззм}$  і значення мінімальної швидкості в цій зоні**

$N_R$	$\alpha_\Sigma$	$L_1, 10^{-3} \cdot \text{м}$	$d, 10^{-3} \cdot \text{м}$	$S/d$	$L_{ззм}, 10^{-3} \cdot \text{м}$	$U_x^{min}, \text{м/с}$
1	1,1	40	4,3	3,72	70,2	-4,6
2	1,3	50	4,2	3,81	73,0	-4,6
3	1,5	60	4,1	3,90	103,0	-4,2

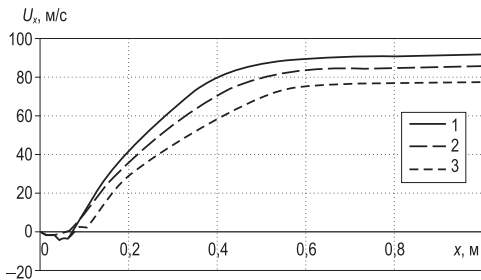
Другий етап досліджень полягав у аналізі закономірностей течії в пропонованому пальнику з визначеними раціональними геометричними параметрами паливоподачі. Характерні результати комп'ютерного моделювання представлені на рис. 2, 3 та в таблиці.

Як свідчать дані моделювання, структура течії має якісно подібний характер при подачі палива в різні секції пальника. На рис. 2 до прикладу наводяться лінії току в поздовжньому перерізі пальника при паливоподачі в третю секцію. Як видно, паливні струмені розвиваються у зносячому потоці окиснювача. У закормовій області стабілізатора полум'я утворюється вихрова структура, відповідальна за стійкість горіння. З віддаленням від торця стабілізатора спостерігається прискорення потоку, зумовлене розширенням газу внаслідок горіння. Вниз за потоком зона високих швидкостей охоплює все більшу частину перерізу каналу. При цьому максимальні швидкості в даній зоні збільшуються вниз за потоком та досягаються на осі стабілізатора.

Аналіз картини течії свідчить про наявність певних кількісних відмінностей при подачі палива в різні секції пальникового пристрою. Як видно з таблиці, довжина зони зворотних токів за стабілізатором зростає з віддаленням газоподавальних отворів від зривної кромки стабілізатора. Вона становить відповідно 70,2; 73,0 і 103 мм для першої,

другої і третьої секції паливоподачі. Звертає на себе увагу той факт, що відмінність у значеннях довжини зони зворотних токів  $L_{ззт}$  для першої і другої секції паливоподачі є незначними. Однак протяжність цієї зони для третьої секції паливоподачі суттєво зростає.

Щодо області, розташованої на деякій відстані від торця стабілізатора, в якій відбувається прискорення потоку, то її характеристики залежать від номеру ряду газоподавальних отворів. А саме, чим більше номер ряду, тобто чим далі від зривної кромки розташовані газоподавальні отвори, тим нижче за потоком починається вказане прискорення. При цьому в фіксованому поперечному перерізі потоку найвища швидкість відповідає першій секції паливоподачі, а найнижча – третій.



**Рис. 3.** Зміна швидкості  $U_x$  на осі стабілізатора, що проходить через вісь газоподавальних отворів, для реагуючих потоків при: 1 –  $\alpha = 1,1$ ;  $L_1 = 40 \cdot 10^{-3}$  м; 2 –  $\alpha = 1,3$ ;  $L_1 = 50 \cdot 10^{-3}$  м; 3 –  $\alpha = 1,5$ ;  $L_1 = 60 \cdot 10^{-3}$  м.

ми особливостями. Зі зростанням номеру ряду її значення стають практично незмінними на більшій відстані від зривної кромки стабілізатора полум'я. При цьому відмінності в величинах цієї швидкості для різних секцій паливоподачі за зоною зворотних токів вниз по потоку спочатку зростають і надалі набувають майже постійного значення.

Дану обставину для швидкості на осі стабілізатора ілюструє рис. 3.

Поведінка вказаної швидкості на осі стабілізатора для різних секцій паливоподачі характеризується також такими

## Висновки

На основі CFD моделювання виконано комплекс досліджень структури течії в пальниках з трирядною паливоподачею, орієнтованих на застосування при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря. При цьому:

1. Визначено раціональні конструктивні параметри системи паливоподачі, за яких в закормовій області стабілізатора забезпечуються сприятливі умови сумішоутворення, необхідні для стабілізації факелу.
2. Проведено порівняльний аналіз характеристик течії при подачі палива в різні секції. Показано, що структура течії має якісно по-

дібний характер для різних рядів газоподавальних отворів. Однак при цьому мають місце певні кількісні відмінності. А саме, з віддаленням паливopодачі від зривної кромки стабілізатора полум'я збільшується довжина зони зворотних токів за стабілізатором, нижче за течією починається її прискорення, реалізується в цілому вищий рівень швидкості потоку тощо.

### Список використаної літератури

1. Fialko N. M., Aleshko S. A., Rokitko K. V., Maletskaya O. E., Milko E. I., Kutnyak O. N., Olkhovskaya N. N., Reagraui A., Donchak M. I., Evtushenko A. A. Regularities of mixture formation in the burners of the stabilizer type with one-sided fuel supply // Технологические системы. 2018. 3(38). С. 37–43. <https://doi.org/10.29010/084.3>
2. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Бутовський Л. С., Шеренковський Ю. В., Алешко С. А., Меранова Н. О., Полозенко Н. П. Особенности течения топлива и окислителя при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени // Промышленная теплотехника. 2011. № 2. С. 59–64. <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/60319>
3. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Прокопов В. Г., Полозенко Н. П., Меранова Н. О., Алешко С. А., Иваненко Г. В., Юрчук В. Л., Милко Е. И., Ольховская Н. Н. Моделирование структуры течения в эшелонированных решетках стабилизаторов при варьировании шага их смещения // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2015. Т. 2, № 8(74). С. 29–34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.39193>
4. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Алешко С. А., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Тимошенко А. Б., Абдулин М. З., Бутовський Л. С. Эффективность систем охлаждения горелочных устройств струйно-стабилизаторного типа // Технологические системы. 2012. № 1. С. 52–57. <http://technological-systems.com/index.php/Home/article/view/309>
5. Fialko N. M., Prokopov V. G., Sherenkovskii Ju. V., Aleshko S. A., Meranova N. O., Yurchuk V. L., Hanzha M. V. Modeling of heat transfer processes in stabilizer burners with heat-resistant coatings. The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April 27–28, 2018. Brno : Baltija Publishing. P. 189–192.
6. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковський Ю. В., Алешко С. А., Меранова Н. О., Абдулин М. З., Бутовський Л. С., Миргородский А. Н. Компьютерное моделирование процессов переноса в системах охлаждения горелочных устройств стабилизаторного типа // Промышленная теплотехника. 2012. Т. 34, № 1. С. 64–71. <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/59056>
7. Фіалко Н. М., Бутовський Л. С., Прокопов В. Г., Грановская Е. А., Шеренковський Ю. В., Алешко С. А., Коханенко П. С. Особенности обтекания плоских стабилизаторов ограниченным потоком // Промышленная теплотехника. 2010. № 5. С. 26–33. <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/60601>
8. Фіалко Н. М., Бутовський Л. С., Прокопов В. Г., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Алешко С. А., Полозенко Н. П. Компьютерное моделирование

процесса смесеобразования в горелочных устройствах стабилизаторного типа с подачей газа внедрением в сносящий поток воздуха // Промышленная теплотехника. 2011. № 1. С. 51–56. <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/60301>

9. Фялко Н. М., Шеренковский Ю. В., Майсон Н. В., Меранова Н. О., Бутовский Л. С., Абдулин М. З., Полозенко Н. П., Клищ А. В., Стрижеус С. Н., Тимошенко А. Б. Интенсификация процессов переноса в горелочном устройстве с цилиндрическим стабилизатором пламени // *Наук. вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.5. С. 136–142. [https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24\\_5/24.pdf](https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_5/24.pdf)

10. Фялко Н. М., Прокопов В. Г., Бутовский Л. С., Шеренковский Ю. В., Меранова Н. О., Алешко С. А., Коханенко П. С., Полозенко Н. П. Моделирование структуры течения изотермического потока в эшелонированной решетке плоских стабилизаторов пламени // Промышленная теплотехника. 2010. № 6. С. 28–36. <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/60617>

11. Фялко Н. М., Шеренковский Ю. В., Майсон Н. В., Меранова Н. О., Бутовский Л. С., Абдулин М. З., Полозенко Н. П., Клищ А. В., Стрижеус С. Н., Тимошенко А. Б. Математическое моделирование процессов течения и смесеобразования в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2014. Т. 3, № 8(69). С. 40–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24895>

12. Фялко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковский Ю. В., Меранова Н. О., Альошко С. О. Аеродинаміка і сумішоутворення в пальниках з багаторядною струменевою системою паливоподачі // *Теплофізика та теплоенергетика*. 2023. № 2. С. 34–44. <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2023.4>

13. Фялко Н. М., Прокопов В. Г., Алёшко С. А., Абдулин М. З., Рокитько К. В., Малецкая О. Е., Милко Е. И., Ольховская Н. Н., Реграги А., Евтушенко А. А. Компьютерное моделирование течения в микрофакельных горелочных устройствах с асимметричной подачей топлива // *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28, № 8. С. 117–121. <https://doi.org/10.15421/40280823>

14. Фялко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковский Ю. В., Альошко С. О., Меранова Н. О., Рокитько К. В. CFD моделювання температурних режимів зони горіння пальників стабілізаторного типу з асиметричною подачею палива // *Теплофізика та теплоенергетика*. 2019. Т. 41. № 4. С. 13–18. <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2019.2>

15. Фялко Н. М., Шеренковский Ю. В., Меранова Н. О., Альошко С. О., Полозенко Н. П., Чехаровська М. І., Дашковська І. Л., Хміль Д. П., Клищ А. В., Попружук І. О. Ефекти впливу номеру ряду струменевої подачі палива на характеристики течії і сумішоутворення в мікрофакельних пальникових пристроях // *Інтернаука*. 2023. № 6(140). С. 65–70. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-6-8767>

16. Фялко Н. М., Меранова Н. О., Шеренковский Ю. В., Абдулин М. З., Альошко С. О., Рокитько К. В. Моделювання процесів горіння в мікрофакельних пальниках з асиметричним паливорозподілом / НАН України, Інститут технічної теплофізики, НАН України. Київ, Миколаїв : СПД Румянцева Г. В., 2023. 212 с.

17. Фялко Н. М., Шеренковский Ю. В., Майсон Н. В., Меранова Н. О., Абдулин М. З., Бутовский Л. С., Полозенко Н. П., Клищ А. В., Стрижеус С. Н., Тимошенко А. Б. Влияние пластинчатых турбулизаторов потока на характеристики течения и смесеобразования топлива и окислителя в цилиндрическом

стабілізаторном горелочном устро́йстве // Науковий вісник НЛТУ України. 2014. Вип. 24.6. С. 114–121. [https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24\\_6/20.pdf](https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_6/20.pdf)

18. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Альошко С. О., Кутняк О. М., Рокитько К. В., Малецька О. Є., Хміль Д. П., Сороковий Р. Я. Особливості аеродинаміки і змішування палива та окиснювача в пальниках з трирядною паливоподачею // Інтернаука. 2023. № 10(144). С. 63–67. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-10-8968>

19. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Майсон М. В., Абдулін М. З., Хомук С. В., Єніна А. О., Новицький В. С., Тимошенко О. Б. Підвищення інтенсивності процесів переносу в циліндричному стабілізаторному пальнику шляхом застосування прямокутних кільцевих ніш // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики : сб. трудов / Институт промышленной экологии. Киев : ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2014. С. 122–125.

20. Fialko N., Sherenkovskii Ju, Meranova N., Aleshko S., Rokitko K. CFD modeling of microjet combustion processes with asymmetric fuel supply / Improvement of scientific approaches to the development of engineering: collective monograph / Babyak V. etc. International Science Group. Boston : Primedia eLaunch, 2022. 562 p. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.4.6.1>

21. Fialko N., Meranova N., Sherenkovskii Ju., Aleshko S., Prokopov V., Abdulin M., Babak V., Korzyk V., Zhelykh V., Khaskin V. Establishment of regularities of isothermal flow and mixture formation in microjet burners with three-row jet fuel supply // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. 6(8(120)), P. 65–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267891>

22. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковський Ю. В., Майсон М. В., Меранова Н. О., Полозенко Н. П., Тимошенко О. Б., Альошко С. О., Абдулін М. З. Теплофізичні засади спалювання газу в мікрофакельних пальниках з циліндричними стабілізаторами полум'я / Інститут технічної теплофізики НАН України. Миколаїв : СПД Румянцева Г. В., 2021. 118 с.

23. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Меранова Н. О., Аleshко С. А., Полозенко Н. П., Кутняк О. Н. Влияние высоты пластинчатых турбулизаторов потока на характеристики течения в микрофакельных горелочных устройствах // Энергетика і автоматика. 2021. № 3. С. 51–61. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2021.03.051>

24. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Аleshко С. А., Полозенко Н. П., Малецька О. Є., Клищ А. В., Дашковская И. Л. Закономерности течения в микрофакельных горелочных устройствах с пластинчатыми турбулизаторами потока // Інтернаука. 2021. № 9(109). С. 62–67. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-9-7407>

25. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Альошко С. О., Малецька О. Є., Кутняк О. М., Бабаков В. П., Щепетов В. В., Харченко С. Д. CFD моделювання температурних режимів пальникових пристроїв при використанні покриттів з різними теплопровідними властивостями // Інтернаука. 2021. № 12(112). С. 25–30. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-12-7490>

26. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Альошко С. О., Юрчук В. Л., Полозенко Н. П., Рокитько К. В., Дашковська І. Л., Ганжа М. В., Сороковий Р. Я. Особливості течії і теплообміну у внутрішній порожнині

стабілізатора полум'я за наявності та відсутності ніш на його бічних поверхнях // Інтернаука. 2021. № 16. С. 78–83. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-16-7654>

27. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Альошко С. О., Юрчук В. Л., Полозенко Н. П., Малецька О. Є., Рокитько К. В., Ганжа М. В., Соколовий Р. Я. Тепловий стан стінок стабілізаторів полум'я з нішовими порожнинами // Інтернаука. 2021. № 17. С. 35–41. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-17-7657>

28. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковський Ю. В., Альошко С. О., Меранова Н. О., Рокитько К. В. Структура течії в пальникових пристроях з асиметричним паливорозподіленням для реагуючих потоків та ізотермічних умов // Теплофізика та теплоенергетика. 2020. № 1. С. 19–26. <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2020.2>. <http://ihe.nas.gov.ua/index.php/journal/article/view/376/312>

29. Fialko N., Prokopov V., Sherenkovsky Yu., Meranova N. Alioshko S., Polozenko N., Maletska O., Rokytko K., Abdulin M. Basic principles of thermogasdynamics of microjet burner devises with asymmetric supply of fuel gas // Internauka 2020. № 4 (84). P. 30–33. <https://www.inter-nauka.com/issues/2020/4/5703>

30. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Алешко С. А., Рокитько К. В., Полозенко Н. П., Малецька О. Е., Юрчук В. Л. Влияние величины избытка воздуха на характеристики неизотермического течения микрофакельных горелок стабилизаторного типа // Інтернаука. 2020. № 5(85). С. 55–60. <https://www.inter-nauka.com/issues/2020/5/5803>.

УДК 621.036.7

**Н. М. Фіалко, А. І. Степанова, Р. О. Навродська,  
Н. О. Меранова, С. І. Шевчук, Г. О. Сбродова**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ В КОМБІНОВАНІЙ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**

**Актуальність.** Проблема енергозбереження в країні тісно пов'язана із термодинамічною досконалістю енергетичних установок. Одним із основних критеріїв оцінки термодинамічної досконалості установок є величина ексергетичних втрат в структурних елементах установки.

© Н. М. Фіалко, А. І. Степанова, Р. О. Навродська, Н. О. Меранова,  
С. І. Шевчук, Г. О. Сбродова, 2024

Так визначення в теплоутилізаційній системі структурних елементів, в яких локалізовано максимальні ексергетичні втрати, дозволить спрямовано впливати на них з метою підвищення ексергетичної ефективності установки. Недосконалість існуючих методів аналізу ексергетичних втрат у теплоутилізаційних системах є однією з перешкод для впровадження у промисловість теплоутилізаційних систем із високими показниками ексергетичної ефективності. Дослідження в цьому напрямі з позицій сучасних ексергетичних підходів є важливими та актуальними для децентралізованої енергетики України.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

У світовій практиці досліджень ефективності енергетичних систем дедалі більше уваги приділяється застосуванню ексергетичних методів аналізу [1–5]. Оцінюючи досконалість роботи енергетичних установок доцільно використовувати комплексні методики на основі ексергетичного підходу. Роботи [6–11] присвячені застосуванню таких методик при аналізі ексергетичних втрат у теплоутилізаційних системах різного призначення. Подальші дослідження у цьому напрямі сприяють підвищенню ефективності енергетичних установок та розвитку методів ексергетичного аналізу.

**Мета роботи.** Метою роботи є зниження ексергетичних втрат у комбінованій теплоутилізаційній системі котельної установки, призначеної для підігріву води та дуттьового повітря.

Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання:

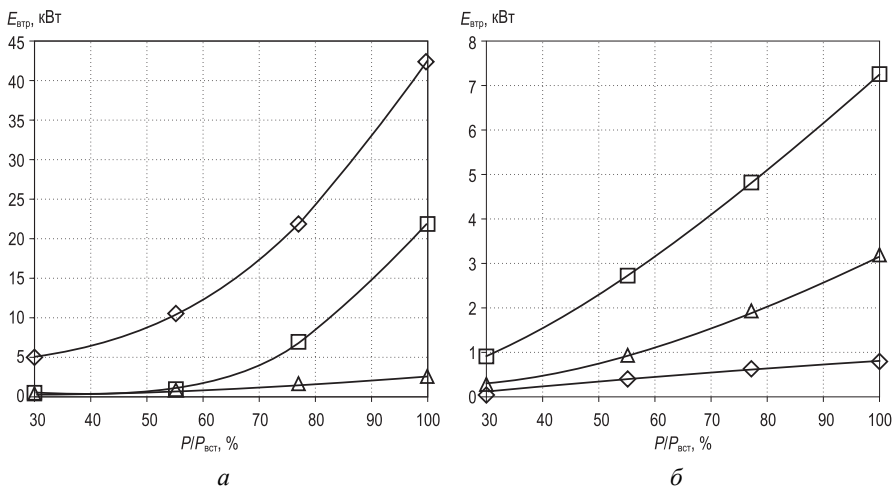
- для комбінованої теплоутилізаційної системи розробити комплексну методiku досліджень, що базується на використанні методів ексергетичного аналізу у поєднанні з методами представлення ексергетичних балансів у матричній формі;
- розрахувати ексергетичні втрати у різних елементах комбінованої теплоутилізаційної системи та визначити відносний внесок кожного елемента в сумарну величину ексергетичних втрат при різних режимах роботи котла.

### **Результати досліджень та їх обговорення**

Одним з важливих показників ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем є ексергетичні втрати. Збільшення ексергетичних втрат відповідає зменшенню ефективності системи. Досліджено ексергетичні втрати у комбінованій теплоутилізаційній системі котельної установки, призначеної для підігріву води та дуттьового по-



вітря. Досліджувана установка включає котел, водогрійний теплоутилізатор, повітрогрійний теплоутилізатор, газопідігрівач, насосну систему та систему трубопроводів, що з'єднує основні елементи теплоутилізаційної системи. Для визначення ексергетичних втрат використано методику, що поєднує елементи ексергетичного аналізу з методами представлення ексергетичних балансів у матричній формі. Із використанням розробленої методики проведено розрахунки і порівняльний аналіз ексергетичних втрат в елементах установки та визначено відносний внесок ексергетичних втрат елементів у сумарну величину ексергетичних втрат за різних значень відносної потужності котла  $P/P_{\text{вст}}, \%$ . Відносна потужність котла змінювалась від 30% до 90% встановленої потужності  $P_{\text{вст}}$  (рисунок, таблиця). Як видно з рисунків, ексергетичні втрати всіх елементів комбінованої теплоутилізаційної системи збільшуються зі збільшенням відносної потужності котла. При цьому найменші втрати ексергії спостерігаються в повітрогрійному теплоутилізаторі та в газопідігрівачі. Відносний внесок втрат ексергії у водогрійному теплоутилізаторі у сумарні ексергетичні втрати теплоутилізаційної системи збільшується зі збільшенням потужності котла.



**Рисунок.** Залежність ексергетичних втрат  $E_{\text{втр}}$  в елементах комбінованої теплоутилізаційної системи від відносної потужності котла  $P/P_{\text{вст}}$ :

*а* – ◆ – теплоутилізаційна система; ◻ – водогрійний теплоутилізатор;  
 ▲ – повітрогрійний теплоутилізатор;  
 б – ◆ – газопідігрівач; ◻ – димосос; ▲ – вентилятор.

**Відносний внесок ексергетичних втрат окремих елементів  
комбінованої теплоутилізаційної системи  
у сумарні ексергетичні втрати**

№	Елементи системи	Відносний внесок окремих елементів у сумарні ексергетичні втрати комбінованої теплоутилізаційної системи за різних значень відносної потужності котла $P/P_{вст}, \%$			
		30	50	70	90
1	Водогрійний теплоутилізатор	16	11,8	26,4	45,4
2	Повітрогрійний теплоутилізатор	14	11,8	8,8	6,7
3	Газопідігрівач	2	4,7	2,9	2,1
4	Димосос	20	25,9	23,0	18,5
5	Вентилятор	6	8,2	8,8	7,9
6	Насос 1	14	15,3	12,4	8,2
7	Насос 2	20	21,2	14,7	9,7
8	Система трубопроводів	2	1,2	24	1,5

### Висновки

1. Розроблено комплексну методику для аналізу ексергетичних втрат у комбінованій теплоутилізаційній системі котельної установки, що заснована на використанні методів ексергетичного аналізу у поєднанні з методами представлення ексергетичних балансів у матричній формі.
2. Із використанням комплексної методики розраховано ексергетичні втрати у різних елементах комбінованої теплоутилізаційної системи, проведено її порівняльний аналіз та визначено відносний внесок кожного елемента у сумарні ексергетичні втрати.
3. Встановлено, що оптимальний режим роботи установки здійснюється при відносній потужності котла, що становить 50–60% його встановленої потужності.

## Список використаної літератури

1. Calise F., Accadi M., Macaluso A., Piacentino A., Vanoli L. Exergetic and exergoeconomic analysis of novel hybrid solar–geothermal polygeneration system producing energy and water // *Energy Convers. Manag.* 2016. 115. P. 200–220.
2. Seyitoglu S., Dincer I., Kilicarslan A. Energy and exergy analyses of hydrogen production by coal gasification // *International Journal of Hydrogen Energy.* 2017. № 42. P. 2600.
3. Taner T. Energy and exergy analyze of PEM fuel cell: A case study of modeling and simulation // *Energy.* 2018. № 143. P. 284–294.
4. Mitrović D., Zivkovic D. & Laković M. S. Energy and Exergy Analysis of a 348.5 MW Steam Power Plant // *Energy Sources, Part A : Recovery, Utilization, and Environmental Effects.* 2010. V. 32. Issue 11. P. 1016–1027. <https://doi.org/10.1080/15567030903097012>.
5. Igor Poljak, Josip Orović, Vedran Mrzljak Energy and Exergy Analysis of the Condensate Pump During Internal Leakage from the Marine Steam Propulsion System // *Scientific Journal of Maritime Research.* 2018. 32. P. 268–280. <https://doi.org/10.31217/p.32.2.12>
6. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii J. Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018. 6/8 (96). P. 43–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.147526>.
7. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R. Study of the efficiency of a combined heat utilization system using the graph theory methods // *Internauka.* 2019. № 15(1). C. 61–63.
8. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Presich G. Localization of exergy losses in the air heater of the heat-recovery system under different boiler operating modes // *Internauka.* 2019. № 12(74). P. 30–33.
9. Stepanova A. Analiz rabotosposobnosti ustanovki s kombinirovannoy teploutilizatsionnoy sistemoy dlia podogreva vody i dutevogo vozdukhа kotloagregata [Analysis of the application combined heat recovery systems for water heating and blast air of the boiler unit] // *Industrial Heat Engineering.* 2016. 38(4). P. 38–46. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2016.06>.
10. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Shevchuk S. Comparative analysis of exergetic efficiency of methods of protection of gas exhaust tracks of boiler installations // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2021. 3/8 (111). P. 42–49. Doi 1015587/1729. 4061.2021/234026
11. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Gnedash G., Shevchuk S. Complex methods for analysis of efficiency and optimization of heat-recovery system // *Scientific and innovation.* 2021. 17(4). P. 11–18. <https://doi.org/10.15407/scine17.04.011>

**Н. М. Фіалко, А. І. Степанова, Р. О. Навродська,  
Н. О. Меранова, С. І. Шевчук, Г. О. Сбродова**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **АНАЛІЗ ЕКСЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**Актуальність** Дослідження та впровадження ефективних технологій утилізації теплоти відхідних газів енергетичних установок різного призначення дозволить вирішувати важливі екологічні та паливні проблеми країни. Для підвищення ефективності утилізаційних технологій дослідження повинні базуватися на застосуванні не тільки класичних термодинамічних методик, а також сучасних комплексних методик, заснованих на ексергетичному підході. В Україні існує досить високий потенціал для впровадження вискоелективних технологій утилізації теплоти, що визначає важливість, актуальність та необхідність розширення досліджень, що проводяться в цій галузі.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Сучасні комплексні методики, які засновано на ексергетичному підході, наразі все більше використовуються у світі при дослідженні ексергетичної ефективності енергетичних установок різного призначення [1–4]. Роботи [5–10] присвячено дослідженню систем утилізації теплоти енергетичних установок із використанням комплексних методик, які поєднують методи ексергетичного аналізу з іншими сучасними методами аналізу, а саме, структурно-варіантними методами, статистичними методами планування експерименту, методами багаторівневої оптимізації тощо. В даній роботі досліджено теплоутилізаційні системи різного призначення газоспоживаючої котельної установки, теплопродуктивністю 2 МВт. Для досліджень використано комплексну методику, яка поєднує структурно-варіантні методи ексергетичного аналізу та критеріальні методи оцінки ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем.

**Мета роботи.** Метою роботи є підвищення ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем різного призначення.

Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання:

- із використанням структурно-варіантного методу ексергетичного аналізу розробити структурні схеми теплоутилізаційних систем різного призначення;
- визначити необхідні для аналізу ексергетичної ефективності критерії оцінки, розрахувати їх значення та провести порівняльний аналіз ексергетичної ефективності для теплоутилізаційних систем різного призначення.

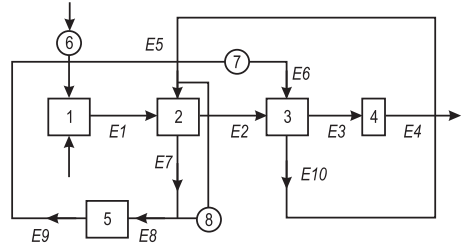
### **Результати досліджень та їх обговорення**

Розглядалося три типи теплоутилізаційних систем. Перший тип теплоутилізаційної системи – теплоутилізаційна система, призначена для нагріву тепломережної води, з поверхневим теплоутилізатором конденсаційного типу. Другий тип – комбінована теплоутилізаційна система для нагріву тепломережної води та нагріву і зволоження дуттьового повітря з контактним-поверхневим водопідігрівачем. Третій тип – комбінована теплоутилізаційна система для підігріву води та дуттьового повітря з водогрійним та повітрогрійним теплоутилізаторами. Розроблено структурні схеми теплоутилізаційних систем різного типу з ідентифікацією ексергетичних потоків теплоносіїв між окремими дискретними елементами простої структури (рис. 1–3). Визначено необхідні для аналізу ексергетичної ефективності критерії оцінки ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем. Це теплоексергетичний критерій ефективності, що визначає втрати ексергії на одиницю теплопродуктивності  $\varepsilon = E_{\text{los}}/Q$ , а також ексергетичний ККД  $\eta_{\text{ex}}$ . Результати розрахунку енергетичних характеристик представлено в таблиці. Для комбінованих теплоутилізаційних систем, в яких кількість споживачів утилізованої теплоти збільшується, а саме, утилізована теплота використовується не тільки для підігріву води, а також і для підігріву та зволоження дуттьового повітря, значення теплоексергетичного критерію ефективності знижується, а ексергетичного ККД підвищується, тобто ексергетична ефективність системи підвищується.

Оскільки найбільші ексергетичні втрати відбуваються у водогрійному теплоутилізаторі та насосній системі, а найменші – у повітрогрійному теплоутилізаторі та газопідігрівачі, то раціональним шляхом зниження загальних ексергетичних втрат у теплоутилізаційній системі є їх зниження саме у водогрійному теплоутилізаторі та насосній системі. Крім того доцільним є зниження ексергетичних втрат в системі трубопроводів. Таке рішення може бути забезпечено при агрегуванні

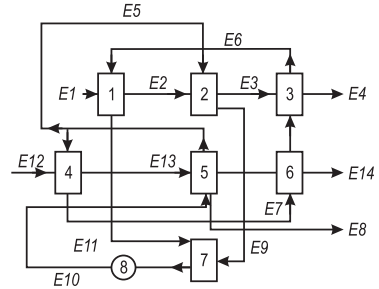
**Рис. 1.** Структурна схема теплоутилізаційної системи для нагрівання тепломережної води:

1 – паливник; 2 – котел; 3 – водонагрівач; 4 – димосос; 5 – споживач теплоти; 6 – вентилятор; 7, 8 – насоси;  $E1-E4$  – димові гази;  $E5-E10$  – вода.



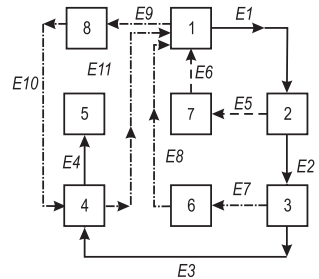
**Рис. 2.** Структурна схема комбінованої теплоутилізаційної системи для нагріву тепломережної води та нагріву і зволоження дуттьового повітря:

1 – повітрянагрівач; 2 – контактний підігрівач та зволожувач повітря; 3 – повітропідігрівач; 4 – вододогрівач; 5 – водопідігрівач; 6 – газопідігрівач; 7 – водозбірник; 8 – насос;  $E1-E4$  – повітря;  $E5-E11$  – вода;  $E12-E14$  – димові гази.



**Рис. 3.** Структурна схема комбінованої теплоутилізаційної системи для підігріву води та дуттьового повітря:

1 – котел; 2, 3 – водогрійний та повітрогрійний теплоутилізатори; 4 – газопідігрівач; 5 – димосос; 6 – вентилятор; 7, 8 – насоси;  $E1-E4$  – димові гази;  $E5, E6, E9-E11$  – вода;  $E7, E8$  – повітря.



теплоутилізаційних систем. Таким чином збільшення кількості споживачів утилізованої теплоти у теплоутилізаційній системі та використання раціональних шляхів зниження загальних ексергетичних втрат підвищує ефективність теплоутилізаційних систем різного типу. Такі висновки корелюють з результатами дослідження енергетичної ефективності теплоутилізаційних систем: тепловий ККД котельної установки при застосуванні комбінованих теплоутилізаційних систем з глибокою утилізацією теплоти підвищується, в середньому, на 5%, коефіцієнт використання теплоти палива – на 7%. Крім того, такі теплоутилізаційні системи характеризуються підвищеною екологічною безпекою. Вибір оптимальної схеми використання утилізованої теплоти визначається, поряд із перерахованими показниками підвищення ефективності, а також потребою у

певному виді теплоносія, вартістю палива, можливістю використання ефективних поверхонь нагріву тощо.

Таблиця

**Результати розрахунку ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем різного типу**

Типи теплоутилізаційних систем	$\epsilon$	$\eta_{ex}, \%$
Перший	0,565	24,7
Другий	0,220	32,5
Третій	0,155	37,8

**Наукова новизна та практична цінність отриманих результатів.** Наукова новизна та практична цінність отриманих результатів полягає в аналізі ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем різного призначення та у розробці рекомендацій щодо їх застосування.

**Висновки**

1. Із використанням структурно-варіантного методу ексергетичного аналізу розроблено структурні схеми теплоутилізаційних систем різного призначення. Ідентифіковано ексергетичні потоки між теплоносіями.
2. Визначено необхідні для аналізу ексергетичної ефективності критерії оцінки ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем, розраховано їх значення та проведено порівняльний аналіз ексергетичної ефективності теплоутилізаційних систем різного призначення.
3. Розроблено рекомендації щодо використання теплоутилізаційних систем різного призначення з урахуванням особливостей їх застосування.

**Список використаної літератури**

1. Zare V., Moalemi A. Parabolic trough solar collectors integrated with a Kalina cycle for high temperature applications. Energy, exergy and economic analyses // Energy Conversion and Management. 2017. 151. P. 681–692. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.09.028>].
2. Picallo-Perez A., Sala J. M., Tsatsaronis G., Sayadi S. Advanced Exergy Analysis in the Dynamic Framework for Assessing Building Thermal Systems // Entropy. 2019. Vol. 22, No. 1. P. 32, <https://doi.org/10.3390/e22010032>.
3. Sayadi S., Tsatsaronis G., Morosuk T. Splitting the dynamic exergy destruction within a building energy system in-to endogenous and exogenous parts using measured data from the building automation system // Int. J. Energy Res. 2020. Vol. 44, No. 6, Feb., P. 4395–4410, <https://doi.org/10.1002/er.5213>.

4. Seyitoglu SS., Dincer I., Kilicarslan A. Energy and exergy analyses of hydrogen production by coal gasification // International Journal of Hydrogen Energy. 2017. № 42. P. 2600.

5. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii J. Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. 6/8 (96). P. 43–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.147526>.

6. Stepanova A. Analiz rabotosposobnosti ustanovki s kombinirovannoy teploulizatsionnoy sistemoy dlia podogreva vody i dutevogo vozdukh kotloagregata [Analysis of the application combined heat recovery systems for water heating and blast air of the boiler unit] // Industrial Heat Engineering. 2016. 38(4). P. 38–46. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2016.06>.

7. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Shevchuk S. Comparative analysis of exergetic efficiency of methods of protection of gas exhaust tracks of boiler installations // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. 3/8 (111). P. 42–49. <https://doi.org/1015587/1729.4061.2021/234026>

8. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Gnedash G., Shevchuk S. Complex methods for analysis of efficiency and optimization of heat-recovery system // Scientific and innovation. 2021. 17(4). P. 11–18. <https://doi.org/10.15407/scine17.04.011>.

9. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R. Study of the efficiency of a combined heat utilization system using the graph theory methods // Internauka. 2019. № 15(1). P. 61–63.

10. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Presich G. Localization of exergy losses in the air heater of the heat-recovery system under different boiler operating modes // Internauka. 2019. № 12(74). P. 30–33.

УДК 621.18.632.15

**С. Й. Бикоріз<sup>1</sup>, С. В. Плашихін<sup>1,2</sup>, Ю. М. Магєра<sup>1</sup>,  
В. В. Чернокрилюк<sup>1</sup>, В. І. Селіванов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

<sup>2</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

## **ОЦІНКА РЕНТАБЕЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРИ СПАЛЮВАННІ ОРГАНІЧНИХ ПАЛИВ**

Оцінка рентабельності впровадження систем зниження викидів оксидів азоту  $\text{NO}_x$  при спалюванні органічних палив для блочних водотрубних та жаротрубних котлів представлена в таблиці [1, 2].

© С. Й. Бикоріз, С. В. Плашихін, Ю. М. Магєра, В. В. Чернокрилюк, В. І. Селіванов, 2024



**Дані щодо рентабельності технологій зниження викидів NO<sub>x</sub>  
у газових котлах**

Технології зниження викидів NO<sub>x</sub>:

ВВ – вприскування води та пари;

ОНП – обмеження надлишку повітря;

НЕП – впровадження низько емісійних пальників.

Тип котла	Потужність котла, МВт	Технологія зниження викидів NO <sub>x</sub>	Контрольований рівень викидів NO <sub>x</sub> , кг/Гкал	Рентабельність тис. грн./тону скорочених NO <sub>x</sub> *
Однопальниковий блочний жаротрубний	2,9	ВВ+ОНП	0,20	38,4–46,4
	7,3		0,20	32,0–37,6
	14,6		0,20	28,4–32,8
	29,3		0,20	22,8–26,0
	43,9		0,20	21,6–24,4
	73,2		0,27	15,2–17,2
	2,9	НЕП	0,27	39,6–172,0
	7,3		0,27	38,8–128,8
	14,6		0,27	22,8–95,6
	29,3		0,31	16,4–66,8
	43,9		0,31	14,4–76,0
	73,2		0,41	9,6–36,8

\* При коефіцієнті використання потужності котла 0,5–0,66. Показники вартості розраховані за умови відсоткової позичкової ставки 10%.

У дані оцінки не включаються витрати на придбання і обслуговування систем стаціонарного моніторингу викидів (СМВ).

Дані про вартість систем контролю та зниження викидів NO<sub>x</sub> для однопальникових газових блочних водотрубних котлів є доступнішими, ніж для іншого устаткування, споживаючого інше паливо.

Оцінка вартості установки систем уприскування води і пари і установки низькоемісійних пальників виконана по даним, отриманим для чотирьох котлів. Оцінка вартості установки низькоемісійних пальників і систем рециркуляції димових газів оцінювалася по даним, отриманим для шести котлів. Оцінка вартості установки систем каталітичного відновлення проводилася по даним, отриманим від основного постачальника таких систем на ринку, що має досвід установки таких систем на

блочних котлах невеликої потужності (порядку 30 т пари/год). Передбачувана рентабельність систем каталітичного відновлення на газових блочних водотрубних котлах виявилася найнижчою. Найвищою рентабельністю володіють низькоемісійні пальники, системи уприскування води і пари.

Системи з одночасним використанням низькоемісійних пальників і систем рециркуляції димових газів займають проміжне положення. Системи уприскування води і пари слід розглядати як пристрої, конкурентоздатні по відношенню до низькоемісійних пальників внаслідок низьких початкових капітальних вкладень.

Не дивлячись на зниження ККД у межах 0,5–1% при використанні систем вприскування води (ВВ), дану технологію варто вважати ефективною головним чином в малопотужних котлах.

У випадку з блочними водотрубними котлами ефект, що визначається потужністю котла на рентабельність технологій контролю, виявляється значним при зниженні одиначної потужності котла нижче 15 МВт.

Для устаткування, потужність якого менше вказаною, витрати на технології контролю за викидами  $\text{NO}_x$  ростуть з великою швидкістю, особливо це стосується систем каталітичного відновлення.

Вартість зниження викидів  $\text{NO}_x$  для однопальникового блокового котла при використанні низькоемісійного пальника значно нижче, ніж для багатопальникового котла такої ж потужності.

Часткова невідповідність між вартісними показниками може пояснюватися різними джерелами використаних даних. Але головною причиною є кількість пальників, що підлягають перевстановленню.

Так котел, що обладнаний чотирма і більш пальниками, потребує витрат на придбання устаткування і його установку. Природно, що ці витрати у декілька разів перевищать аналогічні витрати на технічне переозброєння однопальникового котла.

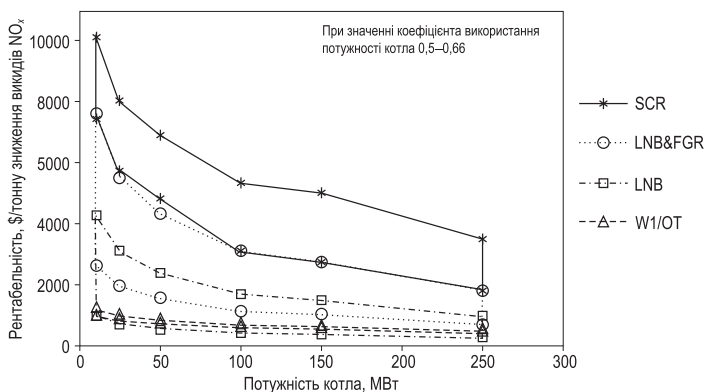
В середньому, витрати на системи з одночасним використанням низькоемісійних пальників і систем рециркуляції димових газів на тону скорочених викидів  $\text{NO}_x$  опинилися в два рази вище, ніж на низькоемісійні пальники з уприскуванням води або пари. В той же час системи каталітичного відновлення опинилися в три рази дорожче. Рентабельність систем уприскування води або пари коливалася в діапазоні 15,2–46,4 тис. грн. за тону скорочених  $\text{NO}_x$ .

Для котлів потужністю від 2,9 до 73 МВт рентабельність контролю за рахунок установки низькоемісійних пальників коливалася в межі 9,6–172,0 тис. грн. за тону скорочених  $\text{NO}_x$ .

Рентабельність систем з одночасним використанням низькоемісійних пальників і систем рециркуляції димових газів коливалася в межах 26,6–305,5 тис. грн. за тону скорочених  $\text{NO}_x$ . Рентабельність систем селективного каталітичного відновлення була найнижчою і дорівнювала 72,4–403,6 тис. грн. за тону  $\text{NO}_x$ . Найвищі з вказаних вище витрат відповідали самому малопотужному котлу (2,9 МВт) при коефіцієнті використання потужності рівному 0,5. Унаслідок того, що багато малопотужних котлів можуть працювати з ще меншим коефіцієнтом використання потужності, то фактичні витрати на технології контролю  $\text{NO}_x$  виявляються ще вищими.

Для таких котлів, з міркувань рентабельності, високі початкові капітальні витрати на установку системи селективного каталітичного відновлення, низькоемісійні пальники, одночасне використання низькоемісійних пальників і систем рециркуляції димових газів можуть стати майже збитковими.

Рис. 1 ілюструє загальну тенденцію рентабельності при зміні потужності котла.



**Рис. 1.** Рентабельність технологій зниження викидів  $\text{NO}_x$  в залежності від потужності у газових блочних водотрубних котлах.

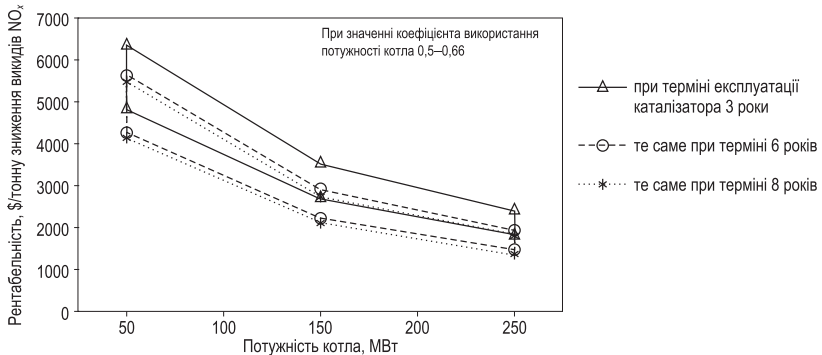
Дані про показники технологій рециркуляції димових газів і скорочення надлишку повітря отримані на підставі недавнього досвіду впровадження в Південній Каліфорнії [3].

Зони рентабельності для низькоемісійних пальників і зони одночасного використання низькоемісійних пальників і систем рециркуляції

димових газів взаємно перекриваються унаслідок широкого розкиду показників рентабельності.

Дані показники ілюструють потенційні зміни вартості технічного переозброєння котла системами контролю  $\text{NO}_x$  і в значній мірі залежать від місцевих умов і умов експлуатації.

На рис. 2 показана зміна рентабельності технології селективного каталітичного відновлення залежно від терміну експлуатації каталізатора.



**Рис. 2.** Рентабельність технології каталітичного відновлення в залежності від потужності та терміну експлуатації каталізатора у газових блочних водотрубних котлах.

Збільшення терміну експлуатації каталізатора веде до поступового зростання рентабельності.

Разом з використанням низькоемісійних пальників, у тому числі і в комбінації з технологією рециркуляції димових газів, використання технології рециркуляції димових газів спільно з скороченням надлишку повітря також є звичайним в газових жаротрубних котлах.

Витрати на 1 тону скорочених викидів  $\text{NO}_x$  для таких пристроїв, споживаючих природний газ, виявилися досить високими. Максимальні витрати зафіксовані для котлів потужністю 1,5 МВт і менш. Основними статтями витрат в даних випадках є витрати на придбання устаткування і його установку. Витрати на технології контролю  $\text{NO}_x$  для жаротрубного котла потужністю 2,9 МВт при його оснащенні технологією рециркуляції димових газів, спільно з скороченням надлишку повітря, практично, рівні найбільшим витратам для варіанту з водотрубним котлом такої ж потужності при його оснащенні низькоемісійними пальниками в комбінації з технологією рециркуляції димових газів, про що йшла мова вище.

Для варіантів оснащення жаротрубних котлів низькоемісійними пальниками, у тому числі і в комбінації з технологією рециркуляції димових газів, відповідні дані відсутні. Тому слід вважати, що найімовірніше в таких випадках рентабельність використання даних технологій буде порівнянна з випадками оснащення подібним устаткуванням блочних водотрубних котлів еквівалентної потужності.

Передбачувані витрати на устаткування жаротрубних котлів технологіями уприскування води або пари характеризуються цифрою 35 000 \$ незалежно від потужності котла. При цьому втрати ККД дорівнюють 1%. В цілому ж, зміну ККД при технічному переозброєнні котла складно спрогнозувати. Фактична зміна ККД залежить від поточних умов експлуатації і може погіршити режими роботи котла унаслідок збільшення надлишку дуттьового повітря. Проте такі зміни, навпаки, можуть сприяти і поліпшенню режимів роботи.

Варіант використання вприскування води слід асоціювати із збільшенням теплових втрат, не дивлячись на деякий вигащ, який можна отримати за рахунок скорочення надлишку дуттьового повітря. Як це відбито в таблиці, передбачувані витрати на дані технології контролю схожі з витратами на низькоемісійні пальники. Проте витрати декілька підвищуються при використанні технологій на водотрубних котлах. Це відбувається унаслідок нижчих базових рівнів викидів  $\text{NO}_x$  в жаротрубних котлах в порівнянні водотрубними.

### **Висновки**

Передбачувана рентабельність систем каталітичного відновлення на газових блочних водотрубних котлах виявилася найнижчою.

Найвищою рентабельністю володіють низькоемісійні пальники, системи вприскування води і пари.

Системи з одночасним використанням низькоемісійних пальників і систем рециркуляції димових газів займають проміжне положення.

Системи вприскування води і пари слід розглядати як пристрої, конкурентоздатні по відношенню до низькоемісійних пальників внаслідок низьких початкових капітальних вкладень.

Не дивлячись на зниження ККД у межах 0,5–1% при використанні систем вприскування води (ВВ), дану технологію варто вважати ефективною головним чином в малопотужних котлах.

Для котлів потужністю від 2,9 до 73 МВт рентабельність контролю за рахунок установки низькоемісійних пальників коливалася в межі 9,6–172,0 тис. грн. за тону скорочених  $\text{NO}_x$ .

Разом з використанням низькоемісійних пальників, у тому числі і в комбінації з технологією рециркуляції димових газів, використання технології рециркуляції димових газів спільно з скороченням надлишку повітря також є звичайним в газових жаротрубних котлах.

Витрати на 1 тонну скорочених викидів  $\text{NO}_x$  для таких пристроїв, споживаючих природний газ, виявилися досить високими. Максимальні витрати зафіксовані для котлів потужністю 1,5 МВт і менш. Основними статтями витрат в даних випадках є витрати на придбання устаткування і його установку.

Варіант використання вприскування води слід асоціювати із збільшенням теплових втрат, не дивлячись на деякий виграш, який можна отримати за рахунок скорочення надлишку дуттьового повітря. Проте витрати декілька підвищуються при використанні технологій на водотрубних котлах. Це відбувається унаслідок нижчих базових рівнів викидів  $\text{NO}_x$  в жаротрубних котлах в порівнянні водотрубними.

### **Список використаної літератури**

1. Technical Support Document for a Suggested Control Measure for the Control of Emissions of Oxides of Nitrogen from Industrial, Institutional, and Commercial Boilers, Steam Generators, and Process Heaters. (California ARB, 1987) Statewide Technical Review Group, California Air Resources-Board. Sacramento, CA, April 1987. P. 73–81.

2. Bowen M. and M. Jennings. (Radian Corp.). Costs of Sulfur Dioxide, Panicle Matter, and Nitrogen Oxide Controls on Fossil Fuel Fired Industrial Boilers. Publication No. EPA-450/3-82-021. Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC August 1982. P. 68–82.

3. Colannino J. Low-Cost Techniques-Reduce Boiler  $\text{NO}_x$  // Chemical Engineering. February 1993. P. 100.

**Н. М. Фіалко<sup>1</sup>, І. М. Кузьменко<sup>2,1</sup>, Ю. В. Шеренковський<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ,*

<sup>2</sup>*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ*

## **ОСОБЛИВОСТІ ГІДРОДИНАМІКИ КОНТАКТНИХ АПАРАТІВ ПРОТИТОКОВОГО ТИПУ**

Контактні апарати протитокового типу широко застосовуються в різних галузях, зокрема – хімічній, нафтохімічній, харчовій промисловості, енергетиці та ін. Поширення цих апаратів пов'язано з низкою таких їх переваг як висока теплова ефективність завдяки безпосередньому контакту теплоносіїв та розвиненій поверхні теплообміну; низька металоємність; порівняно невеликі капітальні витрати на виготовлення контактного апарату завдяки простоті конструкції, зниженій металоємності тощо; невеликі експлуатаційні витрати з огляду на незначний гідравлічний опір апарату і простоту його застосування.

Дослідженню процесів переносу в контактних апаратах присвячена велика кількість робіт (див., наприклад [1–9]). Значний інтерес становить дослідження закономірностей течії в цих апаратах. При цьому на особливу увагу заслуговує вивчення характеристик стабілізації течії, яка значною мірою визначає ефективність роботи таких апаратів.

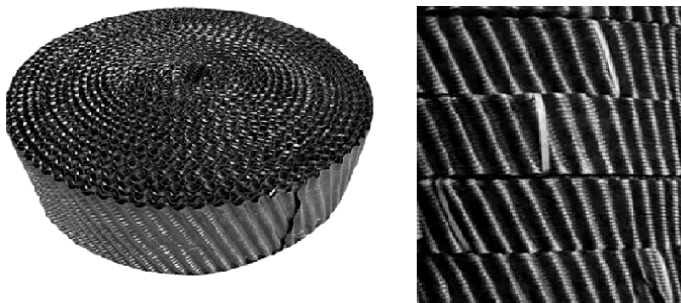
Метою даної роботи є дослідження руху потоків газу та плівки рідини у контактних апаратах протитокового типу в ламінарному режимі та визначення протяжності ділянки гідродинамічної стабілізації в цих апаратах.

Загальний вигляд насадки контактного протитокового апарату та її розміщення в таких апаратах показано на рис. 1.

Канали в насадці з гофрованих полівінілових листів утворюються за рахунок їх компонування таким чином, щоб спрямувати гофри на сусідніх листах в протилежні сторони. По стінках таких каналів збігає плівка рідини, а протитоком знизу надходить потік повітря. Геометричні розміри насадки: діаметр насадки 2500×500 мм, висота гофри 25 мм.

Для встановлення закономірностей течії потоків за їх ламінарного руху в каналах насадки контактних апаратах протитокового типу та визначення протяжності ділянки стабілізації в каналах, на основі запропо-

нованої моделі проведено комплекс обчислювальних експериментів. На вході в канал задавалися значення швидкостей і на виході з каналу задавався тиск, рівний атмосферному. Для формування розвинутих профілів швидкостей потоків перед коаксіальним каналом наявні дві передвключені ділянки: по плівці ( $h = 1050 \dots 1000$  мм) та по повітрі ( $h = 0 \dots -50$  мм).



**Рис. 1.** Зразок насадки та її розміщення в контактних апаратах протитокового типу [10].

Граничні умови на межі потоків та на стінці визначалися умовою прилипання; на межі потоків додавалася умова рівності сил тертя. Враховано вплив сили тяжіння на потоки, початкова об'ємна частка води в повітрі в усіх випадках прийнята рівною нулеві.

Дослідження виконано в наступному діапазоні зміни параметрів на вході в канал: товщина плівки води  $\delta_f = 0,22 \dots 0,42$  мм; її швидкість  $W_f = 0,12 \dots 0,6$  м/с за ламінарного режиму руху потоку повітря  $W_{air} = 0,3 \dots 1,5$  м/с, що відповідає  $Re_{air} = 420 \dots 2100$ . Висота коаксіального каналу  $H = 1,0$  м; його діаметри в  $d_1 = (2 \dots 34) \cdot 10^{-3}$  м,  $\Delta d = (2 \dots 34) \cdot 10^{-2}$  м. В ході моделювання обрано пристінний крок рівний  $0,025$  мм у повітрі та  $0,01$  мм у плівці води, що менше товщини мінімального граничного шару на відстані  $1$  мм (води  $1,2e^{-4}$  м і повітря  $4,8e^{-4}$  м).

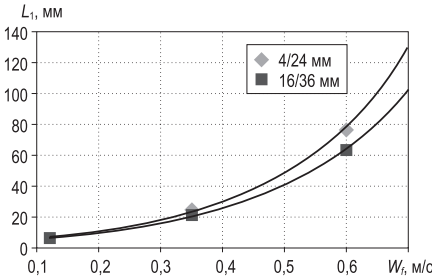
Результати моделювання показано на рис. 2–4. Як видно з рис. 2–3, основними факторами, які визначають протяжність ділянки стабілізації в контактних апаратах протитокового типу за ламінарного руху є швидкість плівки рідини та її товщина. Геометричні параметри каналу та швидкість повітря за ламінарного руху практично не впливають на протяжність цієї ділянки (див. рис. 3–4).

На основі аналізу рівнянь руху та нерозривності сформовано безрозмірні параметри та числа подібності, що описують гідродинаміку

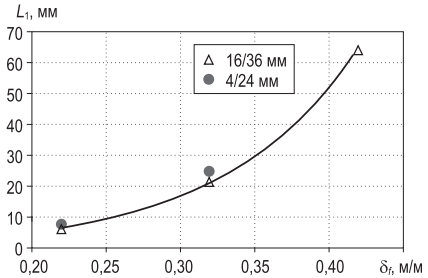


стабілізації руху в коаксіальному каналі з зустрічними потоками плівки води та потоку повітря

$$L_1/H = f\{\delta/H, d_1/H, d_2/H, \Delta d/H, Re_f, Re_{air}\}.$$



**Рис. 2.** Залежність протяжності ділянки стабілізації від швидкості плівки за різних діаметрів коаксіального каналу. Швидкість повітря 0,85 м/с, що відповідає  $Re_{air} = 1200$ ,  $H = 1$  м, товщина плівки 0,22–0,42 мм.



**Рис. 3.** Залежність протяжності ділянки стабілізації від товщини плівки 0,22–0,42 мм за зміни діаметрів каналу. Швидкість повітря 0,3–1,5 м/с, що відповідає  $Re_{air} = 424 \dots 2120$ ,  $H = 1$  м, швидкість плівки води 0,12–0,60 м/с.

За значенням коефіцієнта парної лінійної кореляції вище середнього, встановлено залежність між безрозмірною протяжністю ділянки гідродинамічної стабілізації  $L_1/H$  та визначальними безрозмірними параметрами

$$L_1/H = f\{\delta/H, Re_f\}.$$

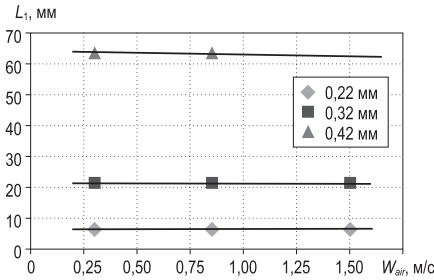
В кінцевому вигляді рівняння, що описує протяжність ділянки гідродинамічної стабілізації в плівці має вигляд

$$L_1/H = \exp(43,868)(\delta/H)^{5,6} Re_f^{-0,57}.$$

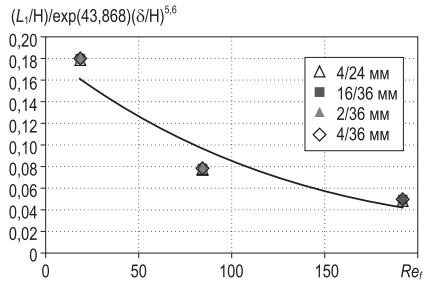
Рівняння отримано в діапазоні  $\delta/H = (2,2 \dots 4,2) \cdot 10^{-4}$ ,  $\Delta d/H = (20 \dots 34) \cdot 10^{-3}$ ,  $d_1/H = (20 \dots 34) \cdot 10^{-3}$ ,  $Re_f = 20 \dots 200$ ,  $Re_{air} = 400 \dots 2100$ .

Залежність між значенням безрозмірної швидкості плівки  $Re_f$  та безрозмірним значенням  $L_1/H/\exp(43,868)(\delta/H)^{5,6}$  показана на рис. 5.

Згідно з даними, наведеними на рис. 5, середнє відхилення експериментальних даних від узагальнюючої кривої складає 9% за значення коефіцієнта кореляції  $R^2 = 0,98$ .



**Рис. 4.** Залежність протяжності ділянки стабілізації від швидкості повітря за різних товщин плівки 0,22–0,42 мм; висота каналу  $H = 1$  м, діаметри коаксіального каналу 16/36 мм.



**Рис. 5.** Залежність між безрозмірним значенням швидкості плівки  $Re_f$  та величиною  $L_1/H/\exp(43,868)(\delta/H)^{5,6}$ .

## Висновки

В роботі на основі CFD моделювання виконано комплекс досліджень з вивчення закономірностей течії в контактних апаратах протікового типу при ламінарних режимах зустрічного руху плівки рідини і повітря. Зокрема:

- досліджено залежність протяжність ділянки гідродинамічної стабілізації плівки рідини від низки факторів. Виявлено, що протяжність вказаної ділянки стабілізації визначається головним чином швидкістю плівки на вході в коаксіальний канал та її товщиною і практично не залежить від параметрів повітряного потоку та геометричних характеристик каналу;
- здійснено узагальнення результатів математичного моделювання з отриманням критеріального рівняння для визначення протяжності ділянки гідродинамічної стабілізації в плівці.

## Список використаної літератури

1. Lavalle G., Li Y., Mergui S., Grenier N. & Dietze G. Suppression of the Kapitza instability in confined falling liquid films // *Journal of Fluid Mechanics*. 2019. 860. 608–639. doi:10.1017/jfm.2018.902
2. Besagni G., Pasquali A., Gallazzini L. et al. The effect of aspect ratio in counter-current gas-liquid bubble columns: Experimental results and gas holdup correlations // *International Journal of Multiphase Flow*. 2017. 94. 53–78. https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2017.04.015
3. Kofman N., Mergui S., Ruyer-Quil C. Characteristics of solitary waves on a falling liquid film sheared by a turbulent counter-current gas flow // *International Journal of Multiphase Flow*. 2017. 95. 22–34. https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2017.05.007.

4. Jingjing Zhao, Hanzhong tao, Jianjie Cheng et al. A numerical analysis of the characteristics of interfacial waves on the onset of flooding in an inclined pipe // International Journal of Multiphase Flow. 2020. 132. 103400, <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103400>.

5. Chuang-Yao Zhao, Li-Wen Liang, Di Qi et al. The effect of gas streams on the hydrodynamics, heat and mass transfer in falling film evaporation, absorption, cooling and dehumidification: A comprehensive review // Building and Environment. 2022. 219. 109183. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109183>.

6. Mohamad AL Sayegh, David Rouzineau, Michel Meyer et al. Impact of physico-chemical properties on falling liquid films flow over flat and corrugated surfaces // International Journal of Multiphase Flow. 2022. 155. 104170. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2022.104170>.

7. Фіалко Н. М., Кузьменко І. М. Моделювання режимів зустрічного руху потоків у коаксіальному каналі контактного апарата // Проблеми теплофізики та теплоенергетики : Тези XIII Міжнародної онлайн-конференції. Київ, 2023. 138 с.

8. Lavalle G., Mergui S., Grenier N. et al. Superconfined falling liquid films: Linear versus nonlinear dynamics. Journal of Fluid Mechanics. 2021. 919. R2. doi:10.1017/jfm.2021.417

9. Collignon R., Caballina O., Lemoine F. et al. Simultaneous temperature and thickness measurements of falling liquid films by laser-induced fluorescence. Exp. Fluids. 2022. 63. 68. <https://doi.org/10.1007/s00348-022-03420-x>

10. Cooling Tower [https://issuu.com/rootpluspot/docs/2022\\_221028\\_.pdf](https://issuu.com/rootpluspot/docs/2022_221028_.pdf)

УДК 628.8

**А. Г. Колієнко**

*Національний університет Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка, м. Полтава*

## **ДО ПИТАННЯ ПРО ВЕЛИЧИНУ ПРИЄДНАНОГО ТЕПЛООВОГО НАВАНТАЖЕННЯ БУДИНКІВ – СПОЖИВАЧІВ ТЕПЛОТИ**

Основними споживачами теплоти в системах теплопостачання є системи опалення, вентиляції і гарячого водопостачання. Можливе також споживання теплоти на технологічні потреби. Основною характеристикою, котра визначає потребу споживачів в тепловій енергії є величина *приєданого теплового навантаження*.

На першому етапі розглянемо саме це поняття стосовно систем опалення будинків.

Існує декілька причин звернення фахівців різного профілю до величини *присданого теплового навантаження*.

**Перша** – це визначення потреби в тепловій енергії для забезпечення теплоспоживання на опалення. Саме з обчислення потреби в теплоті споживачів починається проектування теплових мереж, підбір обладнання котельних, розроблення проектів опалення і вентиляції.

**На цьому етапі визначають присдане теплове навантаження** (в КТМ 204 Україна 244-94 Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні) цю величину називають *максимальний тепловий потік на опалення*), котрий необхідно забезпечити для тепло споживання в системі опалення за одиницю часу 1 год або 1 с при розрахунковій температурі холодного періоду року (середній температурі найбільш холодної п'ятиденки:  $t_p = t_{5 \text{ дн}} = t_{3, \text{розр}}^{\text{норм}}$ ). Саме тому величину присданого теплового навантаження часто називають ще й *розрахунковою величиною теплового навантаження* – тобто визначеною для умов саме розрахункової температури зовнішнього повітря.

По своїй суті і згідно ПКМУ № 830 від 21 серпня 2019 р. є *максимально можливою величиною теплового навантаження для опалення*,  $Q_p^{\text{оп}}$ , котра необхідна для тепло забезпечення споживачів, бо визначена саме для найнижчої середньої зовнішнього повітря холодного періоду року.

Ця температура використовується у ході визначення,  $Q_p^{\text{оп}}$  і регламентована ДСТУ-Н Б В.1.1-27: 2010 «Будівельна кліматологія». Вона визначена за величинами температур *найбільш холодних* п'ятиденок восьми сурових зим протягом 50 років до 2005 року. Таким чином, дійсно відповідає смислу слова «максимально можливе», тобто граничне значення.

Разом із величиною втрат теплоти в теплових мережах, ( $\Delta Q_{\text{ТМ}}$ ) така величина теплового потоку визначає необхідну проектну теплопродуктивність котельні,  $Q_{\text{кот}} = Q_p^{\text{оп}} + \Delta Q_{\text{ТМ}}$ ; а урахування ефективності роботи генератора теплоти  $\eta_{\text{кот}}$  дає можливість перейти від теплопродуктивності до проектної необхідної теплової потужності котельні  $N = Q_{\text{кот}}/\eta_{\text{кот}}$  та вибрати тепломеханічне обладнання котельні.

За отриманими величинами *розрахункового теплового навантаження (максимальних теплових потоків на опалення)* можна визначити також заплановані обсяги відпущеної до споживачів теплоти або виробленої теплоти на опалення за певний проміжок часу (місяць, рік,

або інший плановий період) при середніх фактичних температурах відповідних періодів).

Таким чином поняття *розрахункового теплового навантаження* і його величина є базовою для багатьох інших технічних характеристик роботи системи теплопостачання.

**Друга причина** частого звернення до величини приєднаного теплового навантаження – це розрахунок тарифів на теплову енергію, її виробництво, транспортування та постачання, послуги з постачання теплової енергії і постачання гарячої води.

ПКМУ № 869 від 1 червня 2011 року «**Про забезпечення єдиного підходу до формування тарифів на комунальні послуги**» (далі ПКМУ № 869) передбачає, що «...Для формування двоставкових тарифів на теплову енергію *теплове навантаження об'єктів теплоспоживання* в розрізі категорій споживачів за показниками типових та/або індивідуальних проектів, за якими збудовані такі об'єкти...».

А в ПКМУ № 830 від 21 серпня 2019 р. «**Про затвердження Правил надання послуги з постачання теплової енергії і типових договорів про надання послуги з постачання теплової енергії**» зазначається що в договорах слід зазначати *максимальне теплове навантаження будинку*.<sup>1</sup>

В 2017 р. в Україні набув чинності ДСТУ EN 12831-1:2017 «Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження. Частина 1. Теплове навантаження».

Але не дивлячись на багатообіцяльну назву, використовувати цей нормативний документ для визначення кількості теплоти, котра повинна подаватись до будинку із системи теплопостачання при розрахунковій температурі зовнішнього повітря, без виконання додаткових розрахунків неможливо.

Бо по свої суті «проектне теплове навантаження» (ПТН) у викладенні ДСТУ EN 12831-1:2017 означає не кількість теплоти, котра має подаватись до будинку із системи теплопостачання на лінії балансового розмежування при розрахунковій температурі зовнішнього повітря холодного періоду року, а лише кількість теплоти, котра необхідна для забезпечення комфортних параметрів мікроклімату в опалювальних приміщеннях будинку.

В інтерпретації ДСТУ EN 12831-1:2017 ця величина ПТН не враховує неминучі втрати теплоти в системі опалення будинку, при

<sup>1</sup> «...Максимальне теплове навантаження...» в цьому документі і є розрахунковим приєднаним тепловим навантаженням.

тепловіддачі опалювальних приладів, в ході регулювання відпуску теплоти і інші втрати, котрі неминуче мають місце у ході транспортування теплоти від місця вводу теплоносія у будинок до опалювальних квартир жителів. За своєю величиною ПТН є значно меншою за РТНО.

Цю величину використовують при визначенні поверхні нагрівання опалювальних приладів системи опалення будинку, але ніяк не при обґрунтуванні розрахункового теплового навантаження, або теплового потоку, котрий необхідно подати до будинку із системи теплопостачання при розрахункових параметрах зовнішнього повітря.

Таким чином, до набуття чинності ДСТУ EN 12831-1:2017 «Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження. Частина 1. Теплове навантаження» такі поняття, як:

- «...**максимальне теплове навантаження будинку**»;
- «**теплове навантаження об'єктів теплоспоживання**»;
- «**розрахункове теплове навантаження**»;
- «**максимальна величина теплового потоку**»;
- «**приєднане теплове навантаження**»,

були однією і тією ж величиною за своєю суттю і призначенням.

І в усіх перерахованих випадках, (як би ця величина не називалась в різних нормативних документах), вона означає лише одне – максимально можливу величину теплового потоку в ккал/год, (Мкал/год або Гкал/год), котру необхідно підвести (відпустити) до споживача теплоти (до будинку) для забезпечення потреби в теплоті на опалення, вентиляцію чи гаряче водопостачання.

Стосовно розрахункового теплового навантаження на опалення саме **житлового будинку** ця величина визначається за величиною втрат теплоти через усі зовнішні огороження будинку і являє собою максимальний тепловий потік, котрий необхідно підвести до будинку на межі балансового розмежування (вхідної засувки на ввіді до будинку). Така величина враховує в тому числі, втрати теплоти в неопалювальних приміщеннях, як то підвальні приміщення, сходи і втрати теплоти на нагрівання холодного повітря, що надходить за рахунок інфільтрації для вентиляції усіх приміщень будинку.

У подальшому у цьому дописі із усіх вищеперерахованих термінів буде використовуватись одне поняття, а саме – **розрахункове теплове навантаження на опалення (ккал/год) (РТНО)**.

Для громадських будівель, обладнаних примусовою подачею припливного повітря і нагріванням його в припливних камерах, розраху-

нок приєднаного теплового навантаження на вентиляцію здійснюється окремо.

Якщо ж вести мову про поняття проектне теплове навантаження (ПТН) про яке йдеться в ДСТУ EN 12831-1:2017 то це зовсім інша величина. Згідно введеного ДСТУ поняття **проектного теплового навантаження** означає потребу опалювального об'єму будинку в теплоті і використовується лише для розрахунку систем опалення.

### **Висновок**

Поняття розрахункового теплового навантаження (РТНО) потребує уточнення і уніфікації. Величини РТНО, які використовуються для визначення виробничо-технічних характеристик систем тепlopостачання і тих показників, які використовуються для розрахунку тарифів, повинні бути однаковими за своєю величиною. І розбіжностей у величині РТНО у працівників технічних і економічних відділів підприємства тепlopостачання не повинно бути Це передбачає використання однакових методик для визначення величин РТНО для усіх підрозділів підприємства з тепlopостачання.

Тому у наступних розділах статті будуть розглянути питання про можливі для застосування методики визначення РТНО у розумінні актуальних нормативних документів з тарифоутворення і визначення основних характеристик систем централізованого тепlopостачання.

УДК 697.341

**О. М. Тарадай, О. В. Гвоздецький, С. В. Дяченко**

*Харківський національний університет міського господарства  
ім. О. М. Бекетова, м. Харків*

## **СУЧАСНІ КВАРТИРНІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ**

Основними завданнями будь-якої енергоефективної системи тепlopостачання є забезпечення комфортних умов для конкретного споживача протягом всього опалювального періоду та можливість контролювання споживання теплової енергії.

Для досягнення цих цілей необхідно зменшити витрати на виробництво, транспортування та споживання теплової енергії. Регулювання повинне ґрунтуватися на реальному споживанні теплової енергії, для чого потрібна відповідна арматура внутрішньобудинкових та внутрішньоквартирних систем опалення.

Для вивчення наявних та можливих систем опалення була проведена робота, в якій враховано реальні техніко-економічні можливості отримання теплової енергії або електроенергії від наявних джерел теплоти та можливість раціонального споживання теплової енергії протягом року окремою квартирою.

Вибір восьми запропонованих варіантів систем опалення базувався на світовому та вітчизняному досвіді, а також на реальних можливостях їх масової комплектації та монтажу.

Під час аналізу техніко-економічних показників було розглянуто комплекс факторів, які забезпечують функціонування кожної системи, з урахуванням виробництва, транспортування та використання теплової енергії, надійності експлуатації та можливості перетворення різних видів палива.

Методика оцінки техніко-економічних показників систем опалення, таких як тарифи, вартість річного споживання та поточні витрати теплової та електричної енергії, сумарні поточні витрати, капітальні вкладення, собівартість 1 Гкал теплоти відпущеної системою тепlopостачання, питомі зведені витрати на 1 Гкал теплоти, відпущеної системою тепlopостачання, питомі витрати на 1 м<sup>2</sup> площі квартир базувалася на класичному принципі мінімізації витрат, які охоплюють всі необхідні витрати на будівництво та експлуатацію протягом періоду окупності проєкту.

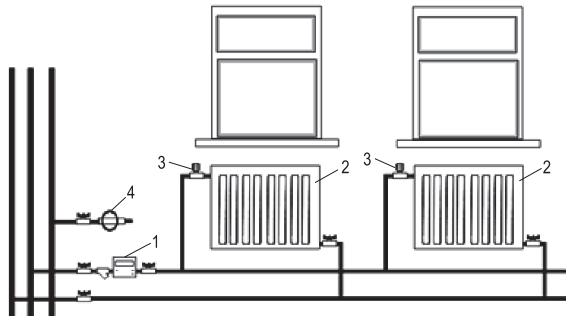
При виборі оптимального варіанта найважливішу роль відігравала можливість отримання теплової енергії або електроенергії від наявних джерел без їхньої реконструкції. Тому перевага надавалася системам опалення з централізованими джерелами теплоти, такими як квартальні та районні котельні або ТЕЦ [1].

За результатами аналізу світової практики та стану вітчизняної системи гарячого водopостачання у більшості варіантів систем опалення запропоновано індивідуальне приготування гарячої води за допомогою ємнісних електричних водонагрівачів у кожній квартирі. Винятком є лише поквартирна залежна система опалення (рис. 1) та централізоване комбіноване опалення з системою «тепла підлога», в яких гаряча вода надходить від централізованого джерела теплоти.



Для коректного зіставлення різних внутрішньобудинкових квартирних систем опалення, які можна рекомендувати для подальшого масового застосування, їх розглянуто в умовах одного певного житлового мікрорайону з житловими будинками різної поверховості (тринадцятиповерхові, шістнадцятиповерхові та дев'ятнадцятиповерхові) з однаковими вихідними даними для всіх варіантів.

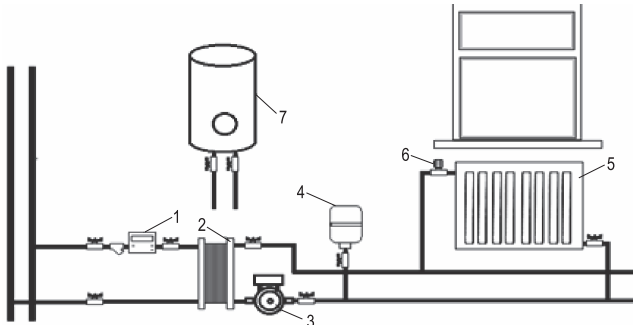
***Варіант № 1. Поквартирна залежна система опалення***



**Рис. 1.** Поквартирна залежна система опалення:  
1 – прилад обліку теплової енергії; 2 – опалювальний прилад; 3 – термостатичний клапан із термостатичною голівкою; 4 – прилад обліку гарячого водопостачання.

Представлена схема є сучасним і ефективним варіантом системи опалення для багатопверхових житлових будинків [2]. Ця схема забезпечує постійну і рівномірну подачу теплоносія до всіх квартир і опалювальних приладів. Це важливо для досягнення стабільного температурного режиму у всіх приміщеннях незалежно від їхнього розташування чи площі. Кожен опалювальний прилад оснащений терморегулятором, що дозволяє мешканцям мати реальну технічну можливість вручну регулювати подачу теплоносія. Це забезпечує індивідуальний контроль температури в кожному приміщенні, що підвищує комфорт і енергоефективність. На вході в кожную квартиру встановлені комерційні теплові лічильники, які обліковують кількість теплової енергії, що споживає кожен мешканець, забезпечуючи справедливий розрахунок витрат на опалення. Завдяки цьому підходу, система опалення є економічною та ефективною, оскільки дозволяє уникнути переплат за невикористану теплову енергію і забезпечує комфортні умови для всіх мешканців.

*Варіант № 2. Поквартирна незалежна система опалення.* Володіє тими ж перевагами, що й поквартирна залежна система, але в ціновому співвідношенні дорожче (рис. 2). Система опалення має кілька додаткових переваг, які покращують її ефективність і функціональність.



**Рис. 2.** Поквартирна незалежна система опалення:  
1 – пластинчастий теплообмінник; 2 – прилад обліку теплової енергії; 3 – циркуляційний насос; 4 – розширювальний бак; 5 – опалювальний прилад; 6 – термостатичний клапан з термостатичною головкою; 7 – електричний водонагрівач.

Розглянемо ці переваги детальніше:

1. Поділ теплоносія на «зовнішній» і «внутрішній»: зовнішній теплоносіє циркулює в теплових мережах, що постачають теплоту до будинку або району, внутрішній теплоносіє циркулює безпосередньо в системі опалення кожної квартири. Цей поділ забезпечує більш ефективний контроль над системою опалення і дозволяє зменшити втрати теплової енергії.
2. Можливість використання альтернативного джерела теплоти: пластинчастий теплообмінник дозволяє підключати альтернативне джерело теплоти, таке як електричні котли. Це забезпечує гнучкість в управлінні опаленням, оскільки мешканці можуть розпочати або завершити опалювальний період за власним розсудом. Це також може бути корисним у випадку, коли централізоване постачання теплової енергії тимчасово відсутнє.
3. Скорочення обсягів підживлення хімічною і деаерованою водою: в системі з власними «внутрішніми» системами опалення необхідність у регулярному підживленні хімічно очищеною і деаерованою водою зменшується. Це зменшує витрати на обслуговування і знижує ризики корозії та осадів у системі.

4. Зниження загальної витрати електроенергії: завдяки розділенню системи на «зовнішню» та «внутрішню», зменшується напір циркуляційних насосів на централізованому джерелі теплоти. Це веде до зниження витрат електроенергії, оскільки менше енергії потрібно для перекачування теплоносія.

*Варіант № 3. Загальнобудинкова електрична котельня.* Вартість цього варіанта близька до вартості поквартирної залежної системи опалення, але має переваги в управлінні та обслуговуванні, що можуть виправдати витрати на встановлення. Принциповою відмінністю даного варіанту є наявність загальнобудинкового електричного котла, що виконує функції основного джерела централізованого тепlopостачання будинку та постачає теплову енергію до всього будинку через систему розподілу теплоносія. Це забезпечує централізовану подачу теплової енергії, що може бути ефективніше в порівнянні з індивідуальними опалювальними системами в кожній квартирі.

*Варіант № 4. Квартирні електричні котли.* Цей варіант є найбільш бюджетним та повністю автономним й залежить тільки від електроенергії. Основною принциповою відмінністю від інших варіантів є наявність у кожного власника квартири власного електричного котла. Ця відмінність дає кожному власнику квартири можливість самостійного контролювання свого споживання теплової енергії, при цьому не чинячи практично ніякого впливу на інші квартири.

*Варіант № 5. Система «тепла підлога».* У порівнянні з іншими системами опалення є самою дешевою. Володіє тими ж перевагами, що й поквартирна залежна система опалення та квартирні електричні котли. В даному варіанті відсутня водяна система, що виключає можливість витоку теплоносія і необхідність підживлення.

*Варіант № 6. Комбіноване опалення з електричним котлом.* Поєднує переваги поквартирної незалежної системи опалення та квартирних електричних котлів, але в ціновому співвідношенні дорожче. Власник квартири має можливість вмикати, коли це зручно або вигідно, наприклад, у міжсезоння те чи інше джерело теплової енергії протягом року.

*Варіант № 7. Централізоване комбіноване опалення з системою «тепла підлога».* Цей варіант є одним із найдорожчих. Володіє тими ж перевагами, що й поквартирна залежна система опалення, але головною особливістю є можливість опалювати свою квартиру за своїм бажанням від другого джерела теплоти – системи «тепла підлога».

*Варіант № 8. Централізоване комбіноване опалення з теплообмінником та системою «тепла підлога».* Цей варіант поєднує в собі особ-

ливості поквартирної незалежної системи опалення та системи «тепла підлога», тобто це означає, що він складається з незалежної системи централізованого опалення та системи «теплої підлоги». Таким чином, восьмий варіант є найбільш гнучким та розширює можливості економного споживання тепла кожним мешканцем. Водночас він має всі переваги централізованого комбінованого опалення з системою «тепла підлога».

Отримані відповідно до чинних методик розрахунків техніко-економічні показники систем енергопостачання та енергоспоживання дали можливість визначити, що найкращим варіантом теплозабезпечення є система «тепла підлога», в якій опалення приміщення здійснюється за допомогою електричної теплої підлоги з приготуванням гарячої води в ємнісному електричному водонагрівачу.

На другому місці квартирні електричні котли: опалення приміщення здійснюється квартирною самостійною системою опалення за допомогою джерела теплоти – електричного котла з приготуванням гарячої води в ємнісному електричному водонагрівачу.

На третьому місці поквартирна залежна система опалення: опалення приміщення здійснюється поквартирною залежною водяною системою опалення та подачею гарячої води від централізованого джерела.

На четвертому місці загальнобудинкова електрична котельня: опалення приміщення здійснюється від загальнобудинкового електричного котла з приготуванням гарячої води в ємнісному електричному водонагрівачу.

На п'ятому місці поквартирна незалежна система опалення: опалення приміщення здійснюється водяною незалежною системою через пластинчастий підігрівач від централізованого джерела з приготуванням гарячої води в ємнісному електричному водонагрівачу.

На шостому місці комбіноване опалення з електричним котлом: опалення приміщення здійснюється від незалежної водяної системи опалення з можливістю використання двох джерел теплоти – централізованого з підключенням через пластинчастий теплообмінник і квартирного електричного котла. Приготування гарячої води здійснюється в ємнісному електричному водонагрівачу.

На сьомому місці централізоване комбіноване опалення з системою «тепла підлога»: опалення приміщення здійснюється від двох джерел – централізованої залежної водяної системи опалення та системи «тепла підлога». подача гарячої води від централізованого джерела.

На восьмому місці централізоване комбіноване опалення з теплообмінником та системою «тепла підлога»; опалення приміщення здійснюється від двох джерел – водяної незалежної системи через пластинчастий теплообмінник від централізованого джерела і системи «тепла підлога». Підігрівання гарячої води здійснюється в ємнісному електричному водонагрівачу.

Слід також звернути увагу на те, що в усіх реалізованих проектах присутні наступні технічні рішення:

- 1) квартирні комерційні лічильники обліку теплової енергії встановлюються на сходових клітинах, загальних холах, коридорах у спеціальних нішах і закритих на ключ шафах [3];
- 2) внутрішньоквартирні пластикові трубопроводи до кожного нагрівального приладу прокладаються від однієї «гребінки-розподільвача»;
- 3) котли, бойлери, розширювальні баки, пластинчасті теплообмінники встановлюються у спеціальних нішах-шафах, як правило, у санвузлах;
- 4) опалювальні прилади встановлюються під вікнами.

Дані технічні рішення мають рекомендаційний характер, що обґрунтовує вибір обладнання та матеріалів.

### **Список використаної літератури**

1. Хомишин В., Козак К. Аналіз систем тепlopостачання житлових будинків // Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій : матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції. Тернопіль, 2019. С. 336–337.
2. Modern Heating Systems for Multi-Story Residential / O. Taradai et al. 2024 IOP Conf. Ser. : Earth Environ. Sci. 1376 012046. DOI: 10.1088/1755-1315/1376/1/012046.
3. Тарадай О., Яременко М., Павлюк Н., Дяченко С. Реконструкція систем опалення житлових будинків при збереженні існуючих джерел тепла // Теплофізика і теплоенергетика. 2024. 46 (2). С. 83–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/tpe.2.2024.9>.

**І. В. Сатін, О. С. Панченко, М. В. Ситніченко**

*Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства», м. Київ*

## **УЗАГАЛЬНЕННЯ ВІТЧИЗНЯНОЇ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ ТА СВІТОВОГО ДОСВІДУ ЩОДО ПРИЙМАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ СТІЧНИХ ВОД ДО СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ СТІЧНИХ ВОД НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ**

У 2023 р. Верховною Радою України прийнято Закон України № 2887-ІХ «Про водовідведення та очищення стічних вод», який покликаний забезпечити дотримання вимог ЄС під час очищення стічних вод. Абзацом шостим частини першої статті 10 цього Закону визначено необхідність затвердження правил приймання поверхневих стічних вод до систем водовідведення поверхневих стічних вод населеного пункту. На даний час такий нормативно-правовий акт відсутній.

Державним підприємством «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства» на замовлення Міністерства розвитку громад територій та інфраструктури України розробляється проект «*Правил приймання поверхневих стічних вод до систем водовідведення поверхневих стічних вод населеного пункту*» (далі – Правила), розробка виконується за рахунок бюджетних коштів.

Для розробки проекту Правил на першому етапі робіт було проведено аналіз вітчизняної та зарубіжної нормативної бази щодо порушеного питання.

Порівняльний аналіз нормативно-правових актів свідчить про те, що основні розбіжності між вітчизняними і закордонними стосуються питань адміністративних механізмів та механізмів фінансування. На нашу думку, найкращим механізмом в цьому випадку буде заохочення існуючих підприємств централізованого водовідведення до управління поверхневими водами в межах міста. Слід додати, що за умови надання дозволів на основі водозбору, як це передбачає Рамкова водна директива ЄС, комунальні підприємства також повинні бути регіонально розподілені на основі водозбору.

Плата за водовідведення зазвичай нараховується за простою формою, наприклад, за фіксованою ставкою для всіх одноквартирних будинків і пропорційно до площі водонепроникності для комерційної нерухомості. Деякі муніципалітети досліджували можливість стягнення плати безпосередньо відповідно до оціночної кількості та якості дощових вод, що скидаються в міську систему водовідведення. Але як показала практика вже сам процес розробки не є тривіальним завданням і, базуючись на загальних (і, як правило, досить простих) гідрологічних моделях та моделях якості води, може викликати значні заперечення з боку платників тарифів.

Для дощових вод були запропоновані або пропонуються програми торгівлі різними типами. Хоча були запропоновані концептуальні моделі комплексної програми торгівлі, засновані на загальному обсязі допустимого скиду води, жодного робочого прикладу ще не було реалізовано. Однак були розроблені більш обмежені версії програм торгівлі.

Програма торгів також може бути використана для визначення економічно ефективних інвестицій у систему водовідведення поверхневих стічних вод на територіях, що потребують підвищеного рівня відновлення. Програма торгів була запропонована як спосіб зниження загальних витрат на програму з очищення поверхневих стоків.

Правила приймання поверхневих стічних вод до систем відведення поверхневих стічних вод населених пунктів повинні забезпечувати приймання, відведення і очищення стічних вод у межах розрахункових проектних показників системи водовідведення та очисних споруд системи водовідведення із дотриманням вимог Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 25 березня 1999 року № 465.

Вимоги до приймання поверхневих стічних вод до систем водовідведення поверхневих вод населеного пункту можуть варіювати в залежності від конкретних законодавчих норм, регулятивних вимог і технічних стандартів, що діють у кожній конкретній країні або регіоні. Однак, деякі загальні вимоги включають в себе:

1. Стандарти якості води.
2. Обсяг та інтенсивність стічних вод.
3. Технічні вимоги до систем водовідведення.
4. Управління забрудненням попереднє очищення.
5. Безпека та запобігання аваріям.
6. Безпека і захист довкілля.

7. Моніторинг та звітність.

8. Відповідальність за порушення.

Дотримання цих вимог допомагає забезпечити ефективне та безпечне управління поверхневими стічними водами в населених пунктах, зменшуючи негативний вплив на навколишнє середовище та громадське здоров'я.

Необхідно чітко врегулювати відносини, що виникають між суб'єктами у сфері відведення поверхневих стічних вод, визначити відповідальних за збір, відведення, утримання та відновлення поверхневих стічних вод в населених пунктах. Таким чином постає необхідність у визначенні відповідальних суб'єктів, які будуть відповідати на рівні громади за управління поверхневими стічними водами у тому числі і за контролем її якості. Найкращим механізмом в цьому випадку буде заохочення існуючих підприємств централізованого водовідведення до управління поверхневими водами в межах міста.

Аналіз з питань організації взаємовідносин між учасниками відносин у сфері відведення поверхневих стічних вод та положень на відповідність чинному законодавству України та законодавчої бази інших держав засвідчив, що для розробки правил приймання поверхневих стічних вод до систем водовідведення поверхневих стічних вод населеного пункту необхідно враховувати практики з приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення та місцеві правила поверхневих стічних вод.

Розроблювані Правила повинні сприяти ефективному управлінню поверхневими стічними водами, які потрапляють до систем відведення поверхневих стічних вод населених пунктів, мінімізації впливу на навколишнє середовище та забезпечувати належне функціонування систем відведення поверхневих стічних вод, які відповідають вимогам нормативних документів з якості води та вимогам відповідних технічних регламентів.



**О. Т. Колтик<sup>1</sup>, І. В. Сатін<sup>2</sup>, О. С. Панченко<sup>2</sup>, В. А. Фляшовський<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Коаліція Ukraine Support Team (UST), м. Київ*

<sup>2</sup>*Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства», м. Київ*

## **РОЗРОБЛЕННЯ НАУКОВО-ОБҐРУНТОВАНИХ МЕТОДИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ВІД РУЙНУВАНЬ**

В Україні станом на початок 2022 року налічувалось приблизно 8 млн житлових будинків із загальною площею житлових приміщень 892,1 млн м<sup>2</sup>.

За оцінкою Світового банку RDNA3, загальна шкода житловому фонду складає 55,9 млрд \$ США. Найбільшої шкоди було завдано багатоквартирним будинкам. Квартири в багатоквартирних будинках продовжують становити найбільшу частку як пошкоджених одиниць, так і витрат на пошкодження, обидва – 86%. Найбільших руйнувань та пошкоджень зазнали житлові будинки у Донецькій, Харківській, Луганській, Київській областях, протягом 2022 р. значних пошкоджень зазнали будинки також у Миколаївській області.

На період воєнного стану в Україні для виконання комплексу робіт з ліквідації наслідків збройної агресії та бойових дій під час воєнного стану та у відбудовний період механізм поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд, об'єктів незавершеного будівництва, об'єктів благоустрою внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків регулюється «Порядком поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків», затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 27 вересня 2022 р. № 1073.

Проте, вищеназаний Порядок не має алгоритму визначення попереднього обсягу відходів від руйнувань, що ускладнює планувальні рішення щодо поводження з цим видом відходів, а також значно навантажує органи місцевого самоврядування у разі настання руйнувань через атаки рф.

Оцінка обсягів утворених відходів від руйнувань здійснюється переважно візуально або за об'ємами кузову вантажних автомобілів.

Для вирішення означеної проблеми, на основі узагальнення вітчизняного та світового досвіду, експертами громадської організації «РЕСІНК» в рамках проекту UA114 «ReThink: Рекомендації щодо управління відходами руйнувань на прифронтових територіях» за підтримки проекту Агентства США з міжнародного розвитку USAID «Зміцнення громадської довіри (UCBI)» розроблено методичні рекомендації для попередньої оцінки відходів від руйнувань [1].

Виходячи з узагальнення досвіду поводження з відходами від руйнувань в громадах Чернігівської, Київської та Миколаївської областей варто зазначити, що безпосередньо після настання руйнувань житлових будинків внаслідок влучання ракет, іншої зброї, органи місцевого самоврядування переважно здійснювали візуальну оцінку обсягів відходів від руйнувань, а також за обсягом машин, які вивозили відходи від руйнувань до місць тимчасового зберігання.

Огляд літератури щодо управління відходами будівництва та знесення [2, 3] показав, що найбільш застосованим підходом до оцінки кількості таких відходів є метод розрахунку коефіцієнту генерації. Принцип методу полягає в отриманні рівня утворення відходів для певну одиницю діяльності (наприклад,  $\text{кг}/\text{м}^2$  і  $\text{м}^3/\text{м}^2$ ). У цьому принципі було введено кілька методів з використанням альтернативних параметрів у попередніх дослідженнях, таких як множення на душу населення, екстраполяція фінансової вартості та розрахунок на основі площі.

Японська методологія попередньої оцінки відходів від стихійних лих базується на застосуванні одиниць виходу для кожного типу будівлі та сумарній площі пошкоджених приміщень в регіоні, тобто відбувається усереднення кількості матеріалів будівлі на  $1 \text{ м}^2$  площі забудови [4, 5].

За методологією ПРООН, оцінюється стан будівель, а саме відсоток загального руйнування, відсоток непошкоджених будівель, який основний будівельний матеріал використовується в зоні лиха (бетон, цегла, дошка, листове залізо); загальна кількість будівельних відходів від будівель у  $\text{м}^3$  шляхом множення квадратних метрів покриття на висоту [6, 7].

Хоча житлові будинки в Україні, Японії, Європі, країнах Близького Сходу відрізняються за типами, а також різною часткою матеріалів, з яких вони побудовані – за результатами аналізу світового досвіду варто відмітити єдиний підхід до оцінки кількості відходів від руйнувань – **отримання норми виходу відходів для різних видів будівель за типом**

*матеріалів, з якого вони побудовані, та обрахування такої кількості відходів через площу будинків.*

Такий підхід може бути застосований в Україні з урахуванням типології забудови, проведенням нормуванням різних видів будівельних матеріалів, з урахуванням пошкоджених об'єктів. Для цілей методики попередньої оцінки відходів від руйнувань розроблено таблиці з нормами виходу відходів від житлових будинків на одиницю площі.

Приведення витрат основних матеріалів для будівельних конструкцій різних типів будинків визначалось за допомогою даних проектно-кошторисної документації – технічно-економічних показників, відомостей основних робіт та кошторисів проектів.

Прийнято, що площа, яка застосовується для визначення обсягів утворення відходів від руйнувань, має бути визначена в межах руйнувань або демонтажу (секція, поверх, частина будинку). Основними показниками визначення прогнозованої кількості відходів від руйнувань є **об'єм ( $m^3$ ) та/або маса (т).**

Проведено розрахунок норми утворення відходів від руйнувань за витратами основних матеріалів для житлових багатоквартирних будинків типових серій, для житлових багатоквартирних монолітно-каркасних будинків та для житлових будинків садибної забудови, включаючи будинки закладів дошкільної та шкільної освіти, лікарні.

Отримані норми утворення відходів від руйнувань можуть застосовуватись для визначення прогнозованої кількості відходів, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) житлових будівель, будівель закладів шкільної, дошкільної освіти та закладів охорони здоров'я внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведення робіт з ліквідації їх наслідків. Норми утворення відходів від руйнувань не визначаються і відповідно не поширюються на інженерні споруди та об'єкти транспортної інфраструктури, нежитлові будинки.

Порівняння норм утворення відходів від руйнувань, які отримані в нашому дослідженні за проектними показниками, з питомими показниками утворення будівельних відходів або відходів лиха, які отримані іншими методами або розрахунками, показало статистичну релевантність отриманих результатів. Середнє арифметичне значення норми утворення відходів від руйнувань за проектними показниками складає  $2,415 \text{ т/м}^2$ .

### **Список використаної літератури**

1. Методичні рекомендації відходи від руйнувань ReThink UST.  
URL : [https://drive.google.com/file/d/1kRTrZc6ColOQRPY\\_6z45uVKjBWa4u5dG/view](https://drive.google.com/file/d/1kRTrZc6ColOQRPY_6z45uVKjBWa4u5dG/view)

2. Development of a Prediction Model for Demolition Waste Generation Using a Random Forest Algorithm Based on Small DataSets / G.-W. Cha et al. // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17, no. 19. P. 6997. URL : <https://doi.org/10.3390/ijerph17196997>

3. Villoria Sáez P., del Río Merino M., Porrás-Amores C. Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain // Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy. 2011. Vol. 30, no. 2. P. 137–146. URL : <https://doi.org/10.1177/0734242x11423955>

4. УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ВІД ЛИХ В ЯПОНІЇ: ДОСВІД ВЕЛИКОГО ЗЕМЛЕТРУСУ І ЦУНАМІ В ТОХОКУ 2011 р., Джунко Нішікава, Директор відділу підтримної інфраструктури Міністерства довкілля Японії, 29 вересня 2022 р., Команда спеціалістів JICA

5. Розробка пропозиції методу поп. розрахунку кількості відходів руйнування в Україні. Хірофумі Мійоші, 29 вересня 2022 р., Команда спеціалістів JICA.

6. Debris Management Guidelines. Humanitarian Library. URL : <https://www.humanitarianlibrary.org/resource/debris-management-guidelines-1>

7. Demolition Waste Assessment Outside the Port of Beirut. UNDP. URL : <https://www.undp.org/lebanon/publications/demolition-waste-assessment-outside-port-beirut>

УДК 502.5

**О. І. Сігал, Н. Ю. Павлюк**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **СВІТОВИЙ ДОСВІД УМОВ ТА ВАРТОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТЕРМІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

Управління побутовими відходами є важливою темою для сталого розвитку нашого суспільства. Побутові відходи – це дуже специфічне та складне паливо. Згідно з новою доповіддю Програми ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП), обсяг муніципальних (побутових) відходів зростає на дві третини, а вартість їхньої утилізації майже подвоїть-ся протягом життя одного покоління.

Прогнозується, що обсяг утворення твердих побутових відходів зростає з 2,3 млрд т у 2023 році до 3,8 млрд т до 2050 року.

У 2020 році прями світові витрати на управління відходами оцінювалися в 252,3 млрд \$ США. Без термінових заходів щодо управління відходами до 2050 року ці світові щорічні витрати можуть майже подвоїтися і досягти приголомшливої суми у 640,3 млрд \$ США.

2018 року громадяни ЄС виробили 220 мільйонів тонн муніципальних відходів, з яких 48% перероблялось та компостувалось, 28% спалювалось з відновленням енергії (технологія Waste-to-Energy (WtE)), 24% було захоронено на полігонах.

За технологією WtE обробляють непереробні залишкові відходи: відходи, які не підходять для повторного використання або переробки і в іншому випадку були б захоронені. Заводи WtE перетворюють ці відходи в енергію, що використовується для вироблення електроенергії, опалення та охолодження. У 2018 році заводи WtE забезпечили електроенергією близько 18 млн громадян Європи та теплом 15 млн громадян. З приблизно 40 ТВт·год електроенергії та 90 ТВт·год тепла, що виробляються WtE в Європі щорічно, заощаджується до 50 мільйонів тонн викидів CO<sub>2</sub>, які інакше були б викинуті при спалюванні вихопного палива. Світова вартість ринку WtE в 2019 році досягла 35 млрд \$ США. Очікується, що до 2027 року ринок WtE становитиме 50 млрд \$ США.

Європейські заводи WtE при переробці залишкових відходів забезпечують локальне джерело надійної (базової) енергії, яка доповнює непостійні відновлювані джерела енергії, такі як вітер чи сонце.

Послуги з управління відходами надають муніципалітети. За аналізом Світового банку, фінансування систем управління відходами часто є однією з найбільших проблем для муніципалітетів [1]. В країнах із високим рівнем доходу витрати на управління твердими відходами в середньому становлять 19 відсотків муніципальних бюджетів (табл. 1).

*Таблиця 1*

**Управління побутовими відходами як відсоток міського бюджету**

<b>Розділення країн за групою доходу</b>	<b>Середній відсоток муніципальних витрат на поводження з ТПВ, %</b>
Країни з низьким доходом	4
Країни з середнім доходом	11
Країни з високим доходом	19

Вартість будівництва та обслуговування об'єктів утилізації може вплинути на вибір містом стратегій остаточної утилізації. Наприклад,

- Будівництво *полігону* може обійтися муніципалітету приблизно в 10 млн \$ США для обслуговування населення в 1 млн осіб.
  - Вартість *компостного підприємства* може змінюватись від кількох мільйонів доларів для базових (валкових) компостних підприємств до приблизно 10 млн \$ США для високомеханізованих установок.
  - *Сміттєспалювальний завод* з рекуперацією тепла та енергії WtE коштує близько 600 \$ США/т в рік капітальних витрат (визначених як загальні капітальні витрати за термін служби заводу, поділені на загальну річну потужність). Заводи WtE вимагають значних початкових інвестицій в інфраструктуру. Вони також мають високі витрати на експлуатацію та обслуговування.
  - *Перевантажувальні станції* можуть бути дуже простими і коштувати близько 500 тис. \$ США, але коли додаються функції *переробки та сортування*, інвестиції збільшуються у кілька разів.
- Управління відходами потребує суттєвих інвестицій в інфраструктуру та довгострокові операції (табл. 2).

Таблиця 2

**Вартість збору, управління та захоронення (\$ США/т)**

Управління відходами	Країни з низьким доходом	Країни з нижчим середнім доходом	Країни з вищим середнім доходом	Країни з високим доходом
Збір відходів	20–50	30–75	40–90	85–250
Санітарний полігон	10–30	15–40	25–65	40–100
Відкрите звалище	2–8	3–10	–	–
Компостування	5–30	10–40	20–75	35–90
Спалювання з відновленням енергії*	–	40–100	60–150	70–200
Анаеробне зброджування	–	20–80	50–100	65–150

\* Включає продаж будь-якої чистої енергії; не включає витрати на утилізацію золи.

Капітальні витрати (CapEx), пов'язані з інфраструктурою та обладнанням, часто хоча б частково підтримуються субсидіями чи пожертвуваннями. Експлуатаційні витрати (OpEx) зазвичай вимагають надійної системи відшкодування витрат на довгострокову стійкість, часто заснованої на стандартній платі за користування/податку на збирання та пе-

реробку відходів, які можуть бути змінними залежно від доходу мешканців.

В даній статті аналізується впровадження технології WtE.

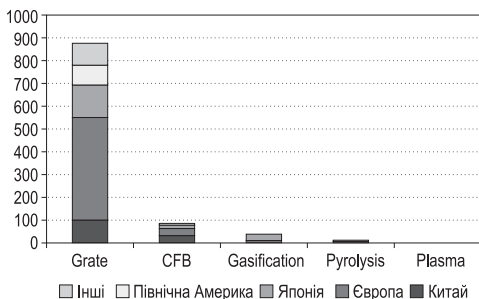
Впровадження WtE залежить не тільки від фінансової стабільності муніципалітету, а й від технічних можливостей та місцевого середовища. Країни з низьким та середнім рівнем доходу часто стикаються з дефіцитом бюджету на послуги з утилізації відходів, і тому підвищення видатків та стягнення зборів часто є невід'ємною частиною розвитку сектора.

### *Вартість технології WtE*

При порівнянні різних технологій WtE слід враховувати фактичну погодинну потужність технології і річну доступність відходів і споживачів відновленої енергії, щоб переконатися, що фактичні витрати та доходи відповідають теоретичній річній потужності.

Майже 90% установок WtE у комерційній експлуатації (з продуктивністю > 5 т/год) у всьому світі використовують системи спалювання

на решітці, менше 10% використовують псевдозріджені шари, і лише кілька відсотків використовують газифікацію, переважно у Японії. Піролізу і плазми «не видно» у цьому масштабі (рисунок).



**Рисунок.** Кількість заводів WtE, що знаходяться в комерційній експлуатації, за регіонами світу та за тепловими технологіями.

Діапазони капітальних затрат (CapEx) та операційних витрат (OpEx) WtE представлені в цій статті для перодових технологій з рухомими ґратами, але для загальних витрат у «країнах з низьким або середнім рівнем доходу» слід

розглядати приблизну цифру від 50 до 100 \$ США/т. Замість річної продуктивності за масою, «розмір» заводу WtE та обсяг його CapEx в основному фіксуються тепловою потужністю заводу, яка складається з його годинної потужності та теплотворної здатності палива (табл. 3).

Ці цифри базуються на амортизації CapEx за 25 років, що підсилює потребу в надійних технологіях для досягнення такого тривалого терміну служби за допомогою звичайного технічного обслуговування. Це також свідчить про важливість «ефекту масштабу», головним чином

для CapEx і меншою мірою для фіксованих OpEx. Ця оцінка надає деякі довідкові дані, які в принципі повинні залишатися дійсними в різних країнах. Однак показники OpEx (і, меншою мірою, CapEx) можуть бути значно нижчими в країнах з низьким рівнем доходу.

Таблиця 3

**«Ефект масштабу» при розробці більших заводів**

Потужність заводу, тис. т/рік	Капітальні витрати, млн €	Операційні витрати, €/т	Продаж енергії, €/т	Плата за прийом відходів, €/т
150	150	40–50	20–30	80–100
500	300	30–40	20–30	50–80

**Умови забезпечення довгострокової надійної та ефективної роботи**

Довгостроковий успіх проекту WtE залежить від послідовності експлуатаційних показників рік за роком:

- кількості оброблених відходів (що передбачає наявність і безперервну роботу на максимальній потужності);
- кількості виробленої енергії (що відповідає ефективності відновлення енергії);
- фактичних рівнів викидів відповідно до дозволених граничних значень;
- використання золи згідно з планом;
- наявність сталих споживачів виробленої енергії (електроенергії, тепла або холоду).

Усі ці параметри завжди повинні відповідати змодельованим параметрам проекту.

Муніципалітетам необхідно виконати комплексний аналіз морфології відходів, які підлягають обробці, і зробити прогнози на наступні роки з урахуванням очікуваних демографічних та економічних змін. Такі прогнози повинні включати оцінку теплотворної здатності та вологості відходів, потенційні сезонні коливання та повинні бути зроблені щонайменше на 10–15 років, маючи на увазі, що розробка та будівництво проекту зазвичай займає  $\pm 5$  років. «Стандартний» завод WtE зазвичай має безпечно і надійно працювати 30 років і більше. Таким чином, його амортизація CapEx може відбуватися протягом перших 20 років або більше.

Слід зазначити, що заводи WtE повинні обробляти щонайменше 100–150 тис. т/рік, а краще 300–500 тис. т/рік (що відповідає вироб-



ництву ТПВ від 500 тисяч до 1 мільйона людей), щоб оптимізувати CapEx і OpEx з важливими ефектами масштабування.

Для WtE зазвичай потрібно від 4 до 6 га залежно від потужності та розташування обробки шлаку для повторно використання (наприклад, при будівництві доріг). Це залишається надзвичайно компактною площею в га у порівнянні зі звалищем, для якого часто потрібно понад 100 га.

Фінансування управління муніципальними відходами має покривати витрати на інфраструктуру (CapEx, включаючи контейнери для відходів, транспортні засоби та обладнання) і поточні операційні витрати (OpEx, включаючи паливо, заробітну плату тощо).

### *Можливості та бар'єри впровадження заводів WtE в Україні*

Всі роки існування незалежної України будівництво заводу WtE (або ТЕЦ-на-ТПВ/RDF) з сучасною системою очистки газових викидів було для адміністрацій міст не рентабельним внаслідок необхідності значних капіталовкладень з довгим періодом окупності (до 10 років). Крім того, плани щодо будівництва ТЕЦ-на-ТПВ/RDF викликають супротив населення та громадських екологічних організацій.

Необхідність термінового розподілення джерел електроенергії та заміщення природного газу в системах централізованого теплопостачання України передбачає реалізацію комплексних заходів щодо використання місцевих джерел енергії, зокрема енергетичного потенціалу залишкових побутових відходів.

КМУ та Міндовкілля розробляється Концепція Державної цільової економічної програми будівництва 207 нових сміттєпереробних заводів та 10 ТЕЦ-на-RDF з сучасною системою очистки газових викидів для крупних міст. Найефективнішою є концепція, коли комбіноване виробництво тепла та електроенергії дозволить виробляти електроенергію для локального використання, використовувати тепло через мережі централізованого теплопостачання, а влітку, коли споживачі тепла відсутні, доцільно виробництво холоду для продажу розташованим поблизу споживачам: супермаркетам та магазинам.

Скорочення використання природного газу сприятиме підвищенню енергонезалежності міст. Спалювання залишкових побутових відходів на ТЕЦ-на-ТПВ/RDF значно скоротить кількість захоронення відходів на полігонах, що поліпшить екологію прилеглої до полігонів місцевості, а також призведе до зменшення витрат пального та скорочення парку сміттєвозів, зниження завантаженості приміських доріг. Ці фактори підвищують економічну та екологічну доцільність будівництва ТЕЦ-на-ТПВ/RDF.

Однак у багатьох випадках адміністрації міст не в змозі фінансувати поточні витрати на збір та експлуатацію, що призводить до провалу проекту. Для вирішення цієї проблеми доцільно залучення зовнішніх інвестицій.

### **Список використаної літератури**

1. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 / 2018 International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. P. 295.

УДК 502.5

**Д. Ю. Падерно, Н. Ю. Павлюк**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА З ВІДХОДІВ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

В Україні щорічно утворюється близько 10 млн т побутових відходів. Переважаючим компонентом ТПВ міст України є біовідходи (35–45%). 9 липня 2023 р. в Україні набрав чинності закон «Про управління відходами», відповідно до якого цільові показники щодо підготовки до повторного використання та рециклінгу побутових відходів становлять не менше 20% їх маси до 2030 року та не менше 35% їх маси до 2040 року. В потоці твердих побутових відходів залишаються приблизно 25–30% відходів (або 2,3–2,7 млн т), які не підлягають багаторазовому використанню чи переробці, але мають суттєвий енергетичний потенціал, який доцільно використовувати шляхом їх спалювання для виробництва електричної та теплової енергії, в першу чергу в системах централізованого теплопостачання міст країни, з огляду на логістичні аспекти та наявність відповідної інфраструктури.

У розвинутих країнах змішані побутові відходи зазвичай не спалюються безпосередньо, а відсортовуються на сміттєпереробних комплексах. Найчастіше це технології механіко-біологічної обробки (МБО) твердих побутових відходів (ТПВ), які охоплюють механічні методи (сепарація за допомогою сит, барабанів, магнітів тощо) і біологічні методи (компостування і анаеробне зброджування).

Типові заходи МБО включають приймання, сортування відходів, відбір вторинної сировини (макулатура, склобій, пластик, метал) на переробку для вторинного використання (рециклінгу) та відбір біовідходів (харчові відходи та зелені відходи – обрізки дерев, рослини), які відправляються на аеробне компостування або на анаеробну ферментацію з отриманням біогазу та подальшим його спалюванням. Після сортування ТПВ частка непереробної фракції в потоці змішаних побутових відходів становить зазвичай від 30 до 60% і складається з пластику, гуми, паперу, картону, дерева, шкіри (шкірозамінників), синтетичних волокон, текстилю, композитів тощо. Ці висококалорійні компоненти використовуються як сировина для отримання штучних пре-RDF та RDF (Refuse Derived Fuel) палив.

Пре-RDF-паливо – це залишки у складі побутових відходів після вилучення органіки та негорючих складових, а також вилучення найбільш цінних (сировинних) вторинних матеріальних ресурсів.

Таке пре-RDF-паливо може використовуватись безпосередньо в спеціально призначених для цього спалювальних установках, але більш розповсюдженою технологією є виробництво з нього RDF-палива.

При цьому потрібно зауважити, що відповідно до Закону України «Про управління відходами», використання відходів як палива визнається енергетичним відновленням відходів (R1 за переліком операцій з відновлення відходів) лише за умови, що енергетична ефективність установок дорівнює або більше 0,60 для існуючих установок та 0,65 для нових установок.

RDF-паливо – тверде паливо, виготовлене з пре-RDF-палива шляхом його подрібнення і сепарації з видаленням шкідливих компонентів та подальшим його зневодненням (сушінням) і пресуванням у брикети.

Для отримання RDF, пре-RDF подається на конвеєр попереднього подрібнення, потім на сепаратори (магнітні, балістичні та пневматичні), де відбувається видалення непридатних (неприпустимих) для спалювання компонентів (метали, скло, пісок, каміння, кераміка тощо), потім на вторинний подрібнювач, та на сепаратор другого ступеня. Після цього здійснюється сушіння, додавання компонентів, що підвищують калорійність або в'язкість палива (якщо це необхідно), та пресування з брикетуванням. Вихід RDF становить зазвичай близько 60% обсягу пре-RDF-палива.

Основними проблемними питаннями щодо використання RDF-палива є:

- досягнення необхідних параметрів якості його як палива;

- дотримання допустимих нормативів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря при спалюванні;
- наявність економічної основи забезпечення виробництва RDF-палива.

Слід відмітити, що з набранням чинності в Україні стандарту ДСТУ EN 15359:2018 (EN 15359:2011) термін RDF теоретично втратив легітимність, хоча його використання й досі вельми поширене; таке паливо ввійшло до сфери охоплення терміну SRF (Solid Recovered Fuel – тверде відновлюване паливо). Згідно вказаному стандарту, SRF класифікується за трьома характеристиками – теплотворна здатність, вміст хлору та вміст ртуті, та за кожною з цих характеристик поділяється на 5 класів. За цією класифікацією паливо з відходів, яке, зазвичай називають RDF, за своїми характеристиками відповідає 3–4 класу, пре-RDF – приблизно 5 класу.

#### Основні вимоги до SRF/RDF-палива (4 клас і вище):

- розмір фракції: від 20 до не більше 80 мм;
- вологість: не більше 25% для ефективного спалювання;
- теплотворна здатність: якомога більша, не менше 10 МДж/кг;
- вміст хлору: якомога менший, не більше 1,5%;
- вміст важких металів: якомога менший задля відповідності нормативам викидів у довкілля, зокрема ртуті медіанно не більше 0,15 мг/МДж;
- гомогенність: однорідність складу для стабільного горіння;
- небезпечні відходи: відсутність небезпечних відходів.

В Україні підприємства централізованого теплопостачання, які виробляють теплову енергію і надають послуги з централізованого опалення та гарячого водопостачання населенню, бюджетним організаціям, комунальним та іншим підприємствам та організаціям, є серед головних споживачів природного газу – використовують близько 20–25% від загального його споживання в країні.

Використання енергетичного потенціалу залишкових ТПВ, переробка яких неможлива, є найбільш доступним в умовах України альтернативним відновлюваним джерелом енергії, до того ж розташованим поблизу споживачів теплової енергії. Включення ТПВ та палива з них до енергетичного балансу України з відновленням їх енергетичного потенціалу сприятиме підвищенню енергетичної безпеки та енергонезалежності централізованого теплопостачання міст України. Теплова енергія залишкових ТПВ може замінити близько 10% споживання природного газу системами централізованого теплопостачання, і стати суттєвим доповненням до інших джерел його заміщення. Енергетичне використання

потенціалу ТПВ сприятиме також підвищенню екологічної безпеки країни завдяки зменшенню кількості захоронення відходів на звалищах та полігонах і відповідному скороченню викидів парникових газів.

Стимулювання підвищення ефективності і надійності систем централізованого теплопостачання і сприяння скороченню споживання і заміщенню природного газу в процесах виробництва теплової енергії визначено серед основних завдань в Концепції «Державної цільової економічної програми енергетичної модернізації підприємств – виробників теплової енергії, що перебувають у державній або комунальній власності, на період до 2030 року», схваленої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 28 листопада 2023 р. № 1093-р, і передбачає підтримку органів місцевого самоврядування і підприємств сфери теплопостачання шляхом часткового відшкодування вартості заходів, передбачених актуальною схемою теплопостачання, в тому числі:

- будівництво і підключення до системи централізованого теплопостачання джерел теплової енергії та окремих теплогенеруючих установок, що використовують відновлювані джерела енергії;
- будівництво і підключення до системи централізованого теплопостачання резервних (додатково до існуючих) джерел теплової енергії і окремих теплогенеруючих установок, що використовують джерела енергії, відмінні від основних.

Науково-технічне супроводження впровадження вказаної програми в напрямку використання палив з ТПВ як енергетичного пального здійснюється фахівцями Інституту технічної теплофізики НАН України відповідно до науково-технічної роботи «Розроблення технічних засад нової високоефективної технології спалювання штучних палив з твердих побутових відходів та біомаси у когенераційних енергоустановках з використанням водню, кисню, синтетичного та біометану для забезпечення енергетичної безпеки України», виконання якої розраховане на 2023–2024 роки.

Основною метою цієї роботи є розроблення технічних засад та комплексу методів і заходів, спрямованих на створення нової енергоекологічно ефективною технології спалювання штучних палив з твердих побутових відходів та біомаси в когенераційних енергоустановках, з підвищенням його ефективності зокрема шляхом введення додаткових інгредієнтів. В ході виконання роботи проводяться теоретичні та експериментальні дослідження процесів спалювання штучного палива з ТПВ, в тому числі з введенням таких додаткових інгредієнтів як водень, кисень, синтетичний та біометан.

**Д. Ю. Падерно**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ  
Інститут промислової екології, м. Київ*

## **ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАЛУЧЕННЯ ДОСВІДУ ПОЛЬЩІ ЩОДО ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА З ВІДХОДІВ ДЛЯ УКРАЇНИ**

Фахівці низки польських компаній та підприємств мають вже багаторічний досвід оброблення твердих побутових відходів (ТПВ) та виробництва з них палива, придатного для використання в цементних печах, котлах, тощо.

11–13 червня 2024 року в Польщі в м. Заверче була проведена щорічна вже 14 конференція «Палива з відходів», організатором якої була компанія ABRYS – лідер на польському ринку у сфері екологічної освіти та організації конференцій у галузі охорони навколишнього середовища, а наукове супроводження здійснював Інститут паливно-енергетичних технологій, м. Забрже, під керівництвом директора інституту Олександра Соболевського, голови програмного комітету конференції.

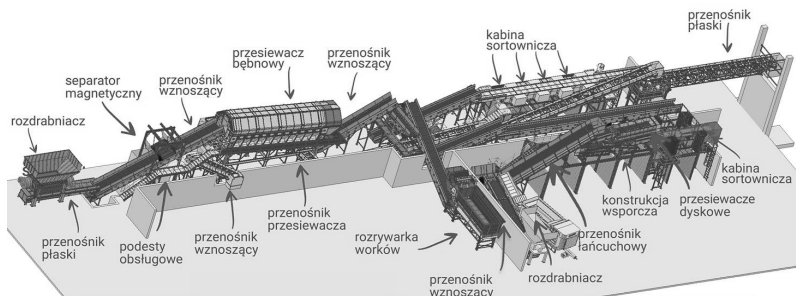
Паралельно з засіданнями конференції була проведена також виставка з наочними прикладами пропозицій польських компаній.

В заходах прийняли участь більше 100 науковців та фахівців ключових підприємств польської промисловості, здебільшого які мають справу з виготовленням штучного палива з відходів.

На початку засідань депутатка сейму Республіки Польща, голова парламентського підкомітету з моніторингу поводження з відходами Габрієла Ленартович наголосила, що у цьому питанні потрібно керуватись не тільки економічною вигодою, але й дотриманням екологічних вимог щодо впливу на довкілля.

Директор Інституту паливно-енергетичних технологій О. Соболевський назвав відходи «небажаним дитям цивілізації 21 століття», але при цьому підкреслив, що відходи є відновлюваним джерелом енергії, а паливо з них – (RDF – Refuse Derived Fuel) – є альтернативним паливом, яке можна використовувати в різних галузях промисловості, включаючи цементну та енергетичну, і яке набуває популярності завдяки своїм екологічним та економічним перевагам.

Значна увага у доповідях була приділена детальному розгляду розроблених та вже впроваджених конкретних прикладів ліній з виробництва такого палива (RDF – Refuse Derived Fuel) – технологіям, обладнанню, безпековим питанням тощо (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема технологічної лінії з виробництва RDF-палива.

Слід відмітити, що польські фахівці використовують свою класифікацію палив з відходів:

- pre-RDF – горюча фракція, виділена з ТПВ, з нестандартизованими властивостями (код за каталогом відходів 19 12 12);
- RDF – Refuse Derived Fuel – паливо з відходів після видалення негорючих компонентів, з певними властивостями;
- SRF – Secondary Recovered Fuel (хоча зазвичай ця абревіатура означає термін Solid Recovered Fuel) – вторинне паливо з властивостями, що відповідають стандарту EN 15359:2011 «Solid recovered fuels. Specifications and classes».

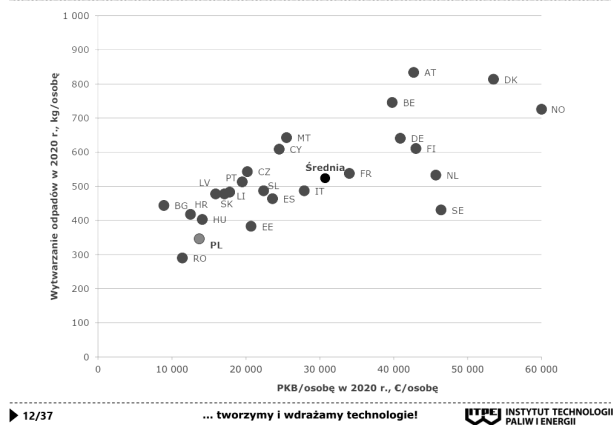
Для RDF і SRF призначений єдиний код 19 12 10 – альтернативне паливо.

Друга сесія конференції була присвячена обговоренню досвіду і проблем ринку палива з відходів – існуючих викликів та шляхів їх вирішення.

Хоча в Польщі рівень утворення відходів на одну особу є одним з найменших у країнах ЄС (рис. 2), в країні вже накопичена значна кількість утворених відходів, зокрема більше 30 млн т горючих, і це зумовлює інтенсивний пошук прийнятних шляхів управління ними.

В Польщі вже існують розвинуті потужності виробництва з відходів RDF-палива, воно виробляється у значних обсягах, надлишкових для країни. Незбалансованість ринку RDF-палива складає від 1,5 до 3,0 млн т на рік, що зумовлено недостатньою кількістю спалювальних установок для нього.

## Одпады комунальні – якаць жыцця



**Рис. 2.** Кількість утворених комунальних відходів на особу в країнах Європи корелює з рівнем доходів населення.

На цей час в Польщі працюють 9 заводів зі спалювання відходів загальною потужністю 1,465 млн т на рік, будуються ще 7 (0,682 млн т на рік), та в перспективі – ще 11 (0,768 млн т на рік), всього 33 заводи загальною потужністю 2,915 млн т на рік.

При утворенні в середньому близько 15 млн т на рік відходів, та вмісті горючої складової в них близько 30%, обсяг RDF-палива з них складе близько 4,5 млн т на рік, і виникає потреба у спалюванні цього обсягу.

Цементні заводи країни можуть використати максимально 1,1 млн т на рік такого палива, заводи зі спалювання відходів – до 2,9 млн т на рік, тобто близько 0,5 млн т на рік RDF-палива залишиться не використаним.

Відповідно до Планів декарбонізації теплової енергетики Польщі, викладених у «Енергетичній політиці Польщі до 2040 року» (ЕПП2040), технічний розвиток централізованого тепlopостачання передбачає зокрема збільшення використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) і відходів (змішаних та RDF/SRF).

Однак зростання кількості установок термічного перетворення відходів не йде гладко. Польща, як і більшість інших країн, стикається з опозицією будівництву заводів з термічної переробки відходів, відношення мешканців можна коротко охарактеризувати як «NiMBY (Not in My Backyard)» – тобто заперечення щодо реалізації проекту в безпосередній близькості від свого подвір'я, незважаючи на загальну підтримку.



Найпоширенішими аргументами громадської думки з цього приводу є проблеми, які можуть виникнути (реально або потенційно):

- зниження вартості нерухомості;
- забруднення навколишнього середовища;
- збільшення обсягу автомобільного трафіку;
- зміна навколишнього ландшафту;
- збільшення шуму.

Задачами розробників технологій енергетичного відновлення палива з відходів є зменшення гостроти цих проблем.

Екологічні аспекти спалювання палив з відходів викликають найбільше занепокоєння. З цього приводу проф. Гжегож Вельгошинський з Лодзької політехніки відмітив, що з хімічної точки зору не має значення, що саме спалюється, – і біомаса, і вугілля містять сірку та хлор. Склад вихідних газів залежить від якості процесу згоряння. Дотримання жорстких стандартів вимагатиме використання додаткового каталітичного нейтралізатора в установці очищення вихідних газів, що означає значне збільшення витрат. Не менш важливою є температура горіння, яка має перевищувати 850 °С, що необхідно для нейтралізації всіх органічних забруднювачів. При цьому було підкреслено, що одна пожежа на звалищі забруднює стільки ж, скільки всі наявні в Польщі установки спалювання палив з відходів за 5 років.

Доктор Томаш Ілук розповів про розроблену в Інституті паливно-енергетичних технологій інноваційну технологію спалювання відходів з відсутністю викидів парникових газів за рахунок уловлювання CO<sub>2</sub> (рис. 3).



**Рис. 3.** Сміттєспалювальний завод з нейтральним рівнем викидів парникових газів.

Основними перевагами цієї технології є зменшення викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу, та отримання нового комерційного продукту – технічного CO<sub>2</sub> (з можливістю виробництва харчового CO<sub>2</sub>). Однак вона вимагає збільшення капітальних (CAPEX) і операційних (OPEX) витрат, збільшення власних потреб у теплоті та електроенергії з відповідним зниженням доходів, та додаткової земельної ділянки для будівництва установки Carbon Capture and Utilization (CCU).

В процесі дискусії учасники конференції дійшли до висновку, що для енергетичного відновлення відходів доцільно вибрати одну конкурентоздатну технологію і систему, яка відповідатиме вимогам щодо якості спалювання та викидів Директиви 2010/75/ЄС «Про промислові викиди (комплексне запобігання і контроль забруднень)», а також вимогам до палива з відходів з точки зору споживачів.

На конференції були також розглянуті правові та організаційні аспекти виробництва та використання палив з відходів.

Зокрема, О. Соболевський запропонував з правової точки зору розглядати отриману з відходів теплоту як скидку теплоту. Прийняття такого підходу сприяло б значному підвищенню значення палив відходів з точки зору декарбонізації.

Таку точку зору підтримала й представник Асоціації адвокатів «Есо Legal» пані Катажина Вольні-Томчик, яка також висловила побажання запровадити в Польщі законодавчі рішення, вже прийняті у Чеській Республіці, які дозволяють перестати вважати відходами паливо з відходів, і відповідно уможливити використання палива з відходів на існуючих теплоелектростанціях, щонайменше протягом перехідного періоду, поки ринок не буде збалансований шляхом досягнення достатньої потужності переробних установок термічної обробки відходів.

Проте учасники дискусії не дійшли згоди щодо перспектив скасування статусу RDF (SRF) як відходів (End-of-waste status) в польських реаліях. В процесі дискусії були висловлені зауваження, що RDF (SRF) паливо швидше за все не зможе пройти процедуру схвалення як товар, а виробництво RDF (SRF) як продукту, що відповідає критеріям такого статусу, вірогідно, не буде економічно життєздатним; також необхідно буде встановити нові нормативи викидів для спалювання RDF (SRF), оскільки дозвіл спалювати їх як викопне паливо загрожуватиме погіршенням якості повітря. В результаті було признано, що визнання RDF (SRF) продуктом, який відповідатиме критеріям такого статусу, потребує ще багато додаткових досліджень та експертиз, і в найближчій перспективі нереально.

Як один з доступних в найближчій перспективі шляхів управління відходами, розглядається експорт до інших країн – Швеції, Данії, Німеччини, тощо, при цьому підкреслюється важливість експорту не відходів, а саме виробленого з них палива, яке має комерційну цінність.



**Рис. 4.** Спількування з Головою програмного комітету конференції, директором Інституту паливно-енергетичних технологій О. Соболевським.

В ході обговорення з автором цієї статті (рис. 4) представники декількох компаній-виробників палива з відходів виказали як готовність до обміну досвідом у цьому напрямку, так і пропозиції щодо експорту такого палива з Польщі до України.

Приклади такого експорту вже існують – компанія Geminor, яка має виробничі потужності до 2,5 млн т рік RDF+SRF, і поставляє це паливо до 11 країн, вже працює з партнерами в Україні, зокрема

поставляють таке паливо на цементний завод поблизу Івано-Франківська в обсягах близько 20 тис. т на місяць, і з огляду на потреби цього заводу в обсягах 60 тис. т на місяць планує збільшення обсягів поставок.

З огляду на окреслену Міністром охорони довкілля та природних ресурсів України перспективу будівництва 207 заводів з перероблення відходів та зокрема виробництва з них палива в нашій країні до 2034 року, необхідно передбачити відповідні шляхи та потужності з подальшого використання такого палива і в тому числі його енергетичного відновлення, включно з максимально доцільним використанням його на цементних заводах, ТЕЦ та інших наявних і майбутніх підприємствах. Якщо це не зробити, Україна ризикує зіткнутись з проблемами, аналогічними тим що вже виникли в Польщі, щодо відсутності адекватного попиту на таке паливо та відповідно відсутності економічної доцільності його виробництва.

*Автор від імені Інституту технічної теплофізики НАН України висловлює подяку організатору конференції – компанії ABRYS за запрошення до участі у конференції.*

**Н. М. Фіалко, Г. О. Гнедаш, С. І. Шевчук,  
М. О. Новаківський, О. Ю. Глушак**

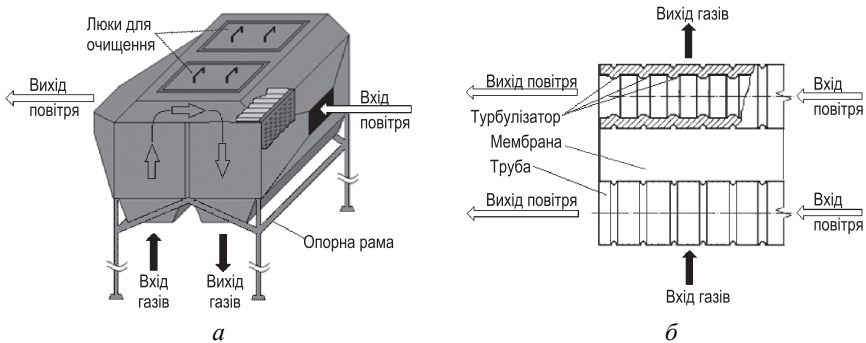
*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ПОВІТРОГРІЙНЕ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК**

Вагомою загрозою для екологічної безпеки нашої планети є звалища сміття, яке накопичується швидкими темпами через зростання споживчих можливостей людства. Часто для зменшення об'єму відходів звалища підпалюють, що є вкрай небезпечним заходом, бо таке стихійне та неконтрольоване знешкодження відходів стає джерелом забруднення повітряного і водного середовища. Організоване за спеціальною технологією у відповідних установках спалювання твердих побутових відходів та виготовлених штучних палив з них є одним із безпечних способів боротьби з їхніми накопиченнями, що дозволяє уникнути впливу негативних факторів на довкілля та здоров'я людей [1, 2]. Однією з вимог до таких установок є забезпечення не лише ефективної та безпечної технології спалювання вказаних палив, а також глибока рекуперація утвореної теплоти. Через вміст у газоподібних продуктах згоряння цих установок хімічно агресивних речовин, а також твердого виносу різного хімічного та фракційного складу у вигляді пилу, процес утилізації теплоти димових газів в таких технологічних установках є досить складним завданням.

Для підвищення ефективності установок спалювання палив з побутових відходів Інститутом технічної теплофізики НАН України запропоноване нове технічне рішення теплоутилізаційного агрегату (рис. 1), призначеного для нагрівання повітря на горіння цих установок завдяки рекуперації теплоти відпрацьованих димових газів, що відходять після турбіни, або водогрійного котла. Повітрогрійний теплоутилізатор має високу теплову ефективність, стійкість робочих поверхонь до корозійної та ерозійної дії димових газів, можливість часткового самоочищення цих поверхонь від відкладень пилу та у разі необхідності примусового їх очищення.

Теплообмінна поверхня теплоутилізатора складається з пакета сталевих панелей, утворених трубами з мембранами. Застосовувані в панелях труби мають кільцеві турбулізатори потоку (рис. 1, б), які забезпечують інтенсифікацію теплообміну на їхніх внутрішніх поверхнях в 1,4–1,8 рази при помірному, порівняно з іншими методами інтенсифікації теплообміну, зростанні аеродинамічного опору.



**Рис. 1.** Принципова схема повітрогрійного теплоутилізатора для установок спалювання палива:

а – загальний вигляд агрегату; б – теплообмінна панель та напрямки руху теплоносіїв.

Рух теплоносіїв (рис. 1, б) перехреснотоківий, де повітря проходить у горизонтальній площині – всередині труб, а димові гази у вертикальній – у міжпанельному просторі. Форма панелей забезпечує процес їхнього самоочищення від відкладень пилу. Для примусового очищення цих поверхонь стисненим повітрям у конструкції теплоутилізатора передбачено спеціальні люки.

Виконано розрахункові дослідження щодо показників теплової ефективності розробленого повітрогрійного теплоутилізатора. Вихідні дані (табл. 1) для виконання розрахункових досліджень теплоутилізатора приймалися в їхньому практичному діапазоні на 1 т/год сміття згідно з літературними даними [3, 4].

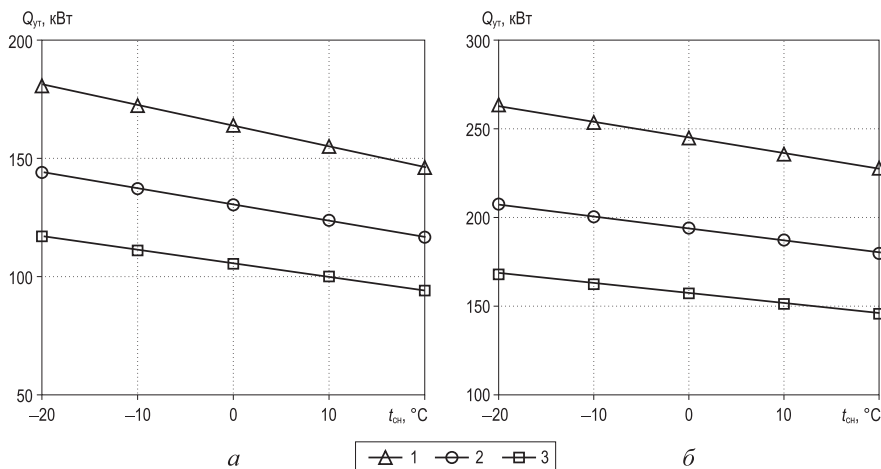
Аналіз отриманих результатів свідчить, що застосування пропонованого теплоутилізатора протягом року за різних значень коефіцієнта надлишку повітря в димових газах за умов їхньої початкової температури 200 °С забезпечує охолодження цих газів до температури 107–152 °С з відповідним нагріванням повітря до 131–151 °С. У разі підвищення температури димових газів до 300 °С досягається вищий рівень підігрівання повітря в межах 198–220 °С, але відповідно підвищується

рівень вихідної температури димових газів до 168–227 °С. За результатами досліджень (рис. 2) для розглянутих умов теплопродуктивність теплоутилізатора  $Q_{yt}$  протягом року змінюється в діапазоні 95–274 кВт.

Таблиця 1

**Вихідні дані для теплотехнічних розрахунків**

Параметр та його розмірність	Значення
Витрата димових газів, кг/с	1,8
Температура димових газів на вході, °С	200–300
Температура повітря на вході, °С	-20...+20
Вологовміст димових газів на вході, кг/кг с.г.	0,15–0,20
Коефіцієнт надлишку повітря	1,5–2,5
Коефіцієнт запиленості теплообмінної поверхні	0,5–1,0

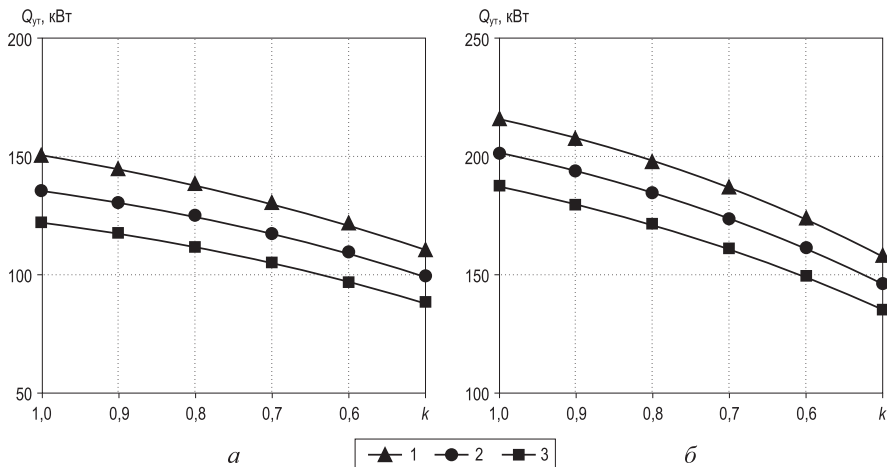


**Рис. 2.** Залежність теплопродуктивності теплоутилізатора від температури навколишнього середовища  $t_{nc}$  за різних коефіцієнтів надлишку повітря та температури відхідних газів на вході:

$a - t_{гк} = 200$  °С;  $б - t_{гк} = 300$  °С; 1 –  $\alpha = 1,5$ ; 2 –  $\alpha = 2,0$ ; 3 –  $\alpha = 2,5$ .

Показано, що величина  $Q_{yt}$  з підвищенням початкової температури димових газів та витрати повітря зростає і зменшується з підвищенням температури навколишнього середовища  $t_{nc}$ . Також встановлено, що за розглянутих умов відсутнє глибоке охолодження димових газів, що

убезпечує під час експлуатації робочі поверхні теплоутилізатора від шкідливого впливу кислого конденсату, що має в своєму складі корозійно активні сполуки.



**Рис. 3.** Залежність теплопродуктивності  $Q_{\text{ут}}$  теплоутилізатора від коефіцієнта забрудненості  $k$  теплообмінної поверхні за різних значень температури відхідних газів і повітря на вході та коефіцієнті надлишку повітря  $\alpha = 2,0$ :  $a - t_{\text{гвх}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $b - t_{\text{гвх}} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $1 - t_{\text{нс}} = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $2 - t_{\text{нс}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $3 - t_{\text{нс}} = +20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Періодичність очищення визначається конкретними умовами експлуатації теплоутилізатора, а саме: швидкістю запылення поверхні нагрівання, необхідним рівнем кінцевої температури повітря, можливістю технічної реалізації процесу очищення тощо.

### Список використаної літератури

1. Johnke B. Emissions from waste incineration // Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. 2000. P. 455–468.
2. Магера Ю. М. Підвищення ефективності термічної інсінерації твердих побутових відходів : дис. ... канд. тех. наук : 05.14.06 / Ін-т технічної теплофізики НАНУ. Київ, 2019. 161 с.
3. Waste to Energy: A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices – Final Report, Stantec, 2011. 88 p.
4. Крот О. П. Моделювання та оптимізація процесів термічного знешкодження побутових і промислових відходів у теплогенеруючих установках : дис. ... д-ра тех. наук : 05.23.03 / Харківський нац. універ. буд. та архіт. Харків, 2019. 329 с.

**Н. М. Фіалко, В. В. Щепетов, Г. О. Сбродова,  
С. І. Шевчук, М. О. Новаківський**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **АНТИКОРОЗІЙНЕ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРІВ СМІТТЕСПАЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК**

Термічне знешкодження (спалювання) твердих побутових відходів (ТПВ) та палив з них є не лише способом боротьби з їхніми екологічними загрозами, а і сприяє енергетичній безпеці України [1, 2]. Будівництво і надійна експлуатація сміттєспалювальних заводів (ССЗ), а також проблема енергетичної утилізації ТПВ є практично вирішеними [3]. Проте аналіз капітальних витрат на спорудження і утримування ССЗ показує, що вони є значно більшими у порівнянні із сміттєпереробними підприємствами і полігонами. Важливим напрямом скорочення витрат на експлуатацію ССЗ є підвищення енергетичної ефективності сміттєспалювальних установок, яке реалізується, зокрема, і шляхом застосування технологій утилізації скидної теплоти димових газів.

Корисне використання скидної теплоти димових газів пов'язано з певними труднощами, зумовленими вмістом в них пилу і хімічно агресивних речовин [1–3]. Тому однією з основних вимог до створення відповідного теплоутилізаційного устаткування є стійкість його робочих поверхонь до корозійної і ерозійної дії димових газів.

За умов застосування для сміттєспалювальних установок комбінованих систем теплоутилізації з глибоким охолодженням димових газів створюються сприятливі умови для конденсатоутворення на певних ділянках теплоутилізаційного устаткування. Випадення вологи може мати місце і в часи пуску та зупинення роботи теплоутилізаційної системи. Тобто у виробничому процесі сміттєспалювальної установки виявляється дещо проблемною надійна і прогнозована робота теплоутилізаторів, ушкодження яких, головним чином, пов'язані з розвитком небезпечних умов зношування поверхонь у корозійному середовищі. Отже, для підвищення надійності експлуатації такого устаткування необхідний захист його робочих поверхонь. Нанесення захисних покрит-



тів на робочі поверхні теплоутилізаторів може значною мірою зменшити рівень їхньої корозії.

З цією метою для покращення експлуатаційних можливостей і продовження робочого ресурсу теплообмінних поверхонь утилізаторів розроблено захисні зносо- і корозійностійкі покриття, що формуються методом металізації [4]. Покриття придатні для умов застосування теплоутилізаторів відхідних газів сміттєспалювальних установок. Розроблені покриття, що наносяться на зовнішню поверхню теплообміну, і містять такі порошкові матеріали з максимальними частками: хром (15,0–19,0)%, нікель (12,0–14,0)%, молібден (2,5–3,0)% та алюмоборосилікатної склофазы (15,0–22,0)%, решта – залізо. Дані покриття найбільш придатні для захисту сталевих поверхонь. Основні характеристики покриття:

- щільність 8,0 г/см<sup>3</sup>;
- теплопровідність 20 Вт/(м·°С);
- твердість 200–250;
- межа міцності 500–550 МПа;
- максимальна робоча температура 600 °С;
- товщина 0,5–2 мм.

Виконано розрахункові дослідження щодо впливу запропонованого покриття на теплові показники повітрогрійного утилізаційного устаткування, запропонованого в [5]. В табл. 1, 2 до прикладу наведено результати розрахунків температурних показників теплоносіїв на виході з теплоутилізатора для його конкретних режимних параметрів (температури димових газів на вході  $t_{\text{вх}}^{\text{I}} = 300$  °С і коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha = 2,0$ ) в умовах експлуатації за температур навколишнього середовища  $-20 \dots +20$  °С. Результати розрахунків наведено для чистої та запиленої поверхонь нагрівання теплоутилізатора для різних значень товщини нанесеного покриття.

Як свідчать отримані результати, наявність захисного покриття не суттєво (на 0,5–1,0%) впливає на значення досліджуваних температур теплоносіїв ( $t_{\text{вих}}^{\text{I}}, t_{\text{вих}}^{\text{II}}$ ), а отже і на теплопродуктивність теплоутилізатора. Це пояснюється відносно високими значенням коефіцієнта теплопровідності розробленого покриття (20 Вт/(м·°С)), яке наноситься з боку димових газів на розвинену теплообмінну поверхню, утворену трубами з мембранами [5]. До того ж, при нанесенні покриття збільшується товщина мембрани, що поліпшує передавання теплоти в такому своєрідному ребрі. Отже, виконані дослідження свідчать про ефективність пропонованого покриття для захисту робочих поверхонь досліджуваного повітрогрійного теплоутилізатора.

Таблиця 1

**Температура димових газів  $t_{\text{вих}}^{\Gamma}$ , °С на виході  
з теплоутилізатора**

Товщина покриття $\delta_{\text{пок}}, \text{ мм}$	Температура димових газів $t_{\text{вих}}^{\Gamma}$ , °С при різних значеннях температури навколишнього середовища $t_{\text{нс}}, \text{ °С}$				
	-20	-10	0	10	20
чиста поверхня					
0	195,3	199,0	202,5	206,0	209,5
1,0	194,6	198,2	201,7	205,2	208,7
1,5	194,4	197,9	201,5	205,0	208,6
2,0	194,1	197,7	201,3	204,8	208,4
запилена поверхня					
0	220,7	223,6	226,5	229,3	232,1
1,0	220,1	223,0	225,9	228,7	231,5
1,5	219,8	222,7	225,6	228,5	231,3
2,0	219,5	222,5	225,4	228,2	231,1

Таблиця 2

**Температура повітря  $t_{\text{вих}}^{\text{п}}$ , °С на виході  
з теплоутилізатора**

Товщина покриття $\delta_{\text{пок}}, \text{ мм}$	Температура повітря $t_{\text{вих}}^{\text{п}}$ , °С при різних значеннях температури навколишнього середовища $t_{\text{нс}}, \text{ °С}$				
	-20	-10	0	10	20
чиста поверхня					
0	209,1	211,2	213,3	215,5	217,8
1,0	209,9	212,0	214,0	216,2	218,4
1,5	210,5	212,5	214,6	216,7	218,9
2,0	211,1	213,1	215,1	217,3	219,4
запилена поверхня					
0	155,6	159,0	162,5	166,2	169,9
1,0	156,4	159,8	163,3	169,9	170,6
1,5	157,0	160,4	163,9	167,5	171,1
2,0	157,7	161,1	164,5	168,1	171,7

## Висновки

1. Розроблено ефективне зносо- і корозійностійке покриття, що формується методом металізації, для робочих поверхонь розглянутого в роботі повітрогрійного теплоутилізатора димових газів сміттєспалювальних установок.
2. Досліджено вплив покриття на температурні показники теплоносіїв теплоутилізатора. Показано, що ці показники змінюються в незначних межах у порівнянні з показниками без використання покриття завдяки достатньо високій його теплопровідності та нанесенню на розвинену теплообмінну поверхню з боку димових газів.

## Список використаної літератури

1. Johnke B. Emissions from waste incineration // Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. 2000. P. 455–468.
2. Магера Ю. М. Підвищення ефективності термічної інсінерації твердих побутових відходів : дис. ... канд. тех. наук : 05.14.06 / Ін-т технічної теплофізики НАНУ. Київ, 2019. 161 с.
3. Крот О. П. Моделювання та оптимізація процесів термічного знешкодження побутових і промислових відходів у теплогенеруючих установках : дис. ... д-ра тех. наук : 05.23.03 / Харківський нац. універ. буд. та архіт., Харків, 2019. 329 с.
4. Waste to Energy: A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices – Final Report. Stantec, 2011. 88 p.
5. Fialko N., Navrodska R., Shevchuk S., Gnedash G. & Martiuk O. Improving the plants efficiency of thermal incineration household waste by recovering waste heat // Thermophysics and Thermal Power Engineering. 2024. 46(2). P. 92–99. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/tpe.2.2024.10>

УДК 502.5

**Н. Ю. Павлюк**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ПІДХОДИ ЄС ДО ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ВІДХОДІВ ПАКОВАННЯ ТА ДЕЯКОЇ ПЛАСТИКОВОЇ ПРОДУКЦІЇ**

23 червня 2022 року Україна отримала статус кандидата на членство в Європейському Союзі (ЄС). Для повноправного членства у ЄС українське законодавство повинно відповідати законодавству ЄС,

зокрема, *Європейському Зеленому Курсу (European Green Deal)*. Важливою складовою стратегії Європейського зеленого курсу є План дій щодо «циркулярної» економіки (*Circular Economy Action Plan*). План спрямований на впровадженні підходу економіки замкнутого циклу, який віддає пріоритет стійким та багаторазовим продуктам та системам повторного використання порівняно з одноразовими продуктами. У першу чергу це спрямоване на запобігання утворенню відходів та викидів парникових газів.

В ЄС стрімко зростають відходи пакування. Кожен європейець щорічно викидає майже 190 кг паковальних відходів. За прогнозами, до 2040 року кількість цих відходів зросте щонайменше до 15% порівняно з показниками 2018 року. *Європейський Зелений Курс* спрямований, зокрема, на переробку відходів опакowania та впровадження опакowania багаторазового використання через обмеження продукції одноразового використання.

Директива ЄС (ЄС) 2018/852 від 30 травня 2018 р. *про внесення змін до Директиви 94/62/ЄС про пакування та відходи пакування* містить детальні вимоги та цільові показники з переробки відходів та різних матеріалів (таблиця).

Таблиця

**Цільові показники з переробки, встановлені в Директиві 94/62/ЄС про пакування та відходи пакування, у %**

Повинно бути перероблено за масою	31 грудня 2008 р.	31 грудня 2025 р.	31 грудня 2030 р.
Всіх відходів пакування	55–80	65	70
Скло	60	70	75
Папір та картон	60	75	85
Метал	50		
Чорні метали		70	80
Алюміній		50	60
Деревина	15	25	30
Пластик	22,5	50	55

Дані таблиці показують особливу увагу європейського законодавства до скорочення відходів пластикового пакування. Пластикові відходи стали глобальною проблемою. За даними Асамблеї Організації Об'єднаних

них Націй з навколишнього середовища (UNEA-6) лише 9% пластикових відходів переробляються, 17% спалюються, 22% залишаються незібраними, а 46% викидаються на звалища.

Логічно стверджувати, що для зменшення відходів упаковки виробники повинні скоротити кількість одноразової упаковки. Зворотна пластикова упаковка може принести значні переваги для навколишнього середовища порівняно з одноразовою пластиковою упаковкою, потенційно зменшуючи викиди та використання води на 35–70%.

В повідомленні Європейської Комісії від 16 січня 2018 р. «*Європейська Стратегія щодо Пластику в Економіці Закритого Циклу*» представлено кроки до створення економіки замкнутого циклу, в якій зменшення використання разової пластикової продукції повністю враховує потреби у повторному використанні, ремонті та переробці, а також розробляються та просуваються більш екологічні матеріали.

Мета *Європейської стратегії щодо пластику* полягає в тому, щоб до 2030 року все пластикове пакування, що постачатиметься на ринок Союзу, була багаторазовим, або могло бути перероблено з мінімальними витратами.

Директива (ЄС) 2019/904 від 5 червня 2019 р. *про зменшення впливу деякої пластикової продукції на довкілля* (відома як *Директива Про Одноразові Пластики*) забороняє розміщення на ринку дев'яти видів одноразових пластикових виробів, у тому числі деяких видів упаковки з пінополістиролу, таких як харчові контейнери і їх кришки, призначені для споживання на місці або на винос, та контейнери для напоїв, включаючи їх ковпачки.

Держави-члени ЄС повинні забезпечити роздільний збір для переробки *одноразових пластикових пляшок для напоїв* місткістю до трьох літрів:

- до 2025 р. в кількості, що дорівнює 77% розміщених на ринку цього року за масою;
- до 2029 року в кількості, що дорівнює 90% розміщених на ринку цього року за масою.

Кожна держава-член ЄС повинна гарантувати для *ПЕТ-пляшок* (пляшок для напоїв місткістю до трьох літрів, які виготовляються з поліетилентерефталату як основного компоненту):

- з 2025 року ПЕТ-пляшки повинні містити не менше 25% переробленого пластику, розрахованого як середнє значення для всіх ПЕТ-пляшок, представлених на ринку на території цієї держави-члена;

- з 2030 року ПЕТ-пляшки повинні містити не менше 30% переробленого пластику, розрахованого як середнє для всіх таких пляшок для напоїв, розміщених на ринку на території цієї держави-члена.

З 1 січня 2021 року рішення Ради ЄС 2020/2053 щодо системи власних ресурсів ЄС (*Decision (EU, Euratom) 2020/2053 of 14 December 2020 on the system of own resources of the European Union*) запроваджує збір, заснований на кількості неперероблених відходів пластикового пакування, вироблених кожною державою-членом ЄС. Цей «пластиковий збір» покликаний скоротити поширення неперероблених пластикових відходів. Держава-член ЄС має сплачувати збір, який визначається шляхом множення ставки 0,80 євро за кілограм на вагу неперероблених відходів пластикової упаковки.

24 квітня 2024 року Європейський парламент ухвалив *Регламент з Пакування та Відходів Пакування (Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR))*. PPWR набуде чинності через вісімнадцять місяців, тобто, як очікується, наприкінці 2025 року або на початку 2026 року.

Зміна директиви ЄС на регламент ЄС означає, що PPWR буде діяти напряму у всіх державах-членах.

PPWR встановлює жорсткі цілі зі скорочення відходів пакування в порівнянні з показниками 2018 року:

- 5% до 2030 року;
- 10% до 2035 року;
- 15% до 2040 року.

До 2029 року країни ЄС мають забезпечити 90% роздільного збору паковальних відходів із пластику, чорних металів, дерева, алюмінію, паперу, картону та скла.

До 2029 року європейські виробники одноразових пластикових пляшок і металевих контейнерів об'ємом до трьох літрів повинні забезпечити роздільне збирання такого пакування шляхом створення *Системи Повернення Депозитів*.

З 2030 року будь-яка упаковка, що надходить на ринок, повинна бути призначена для вторинної переробки.

Для досягнення цієї мети необхідно запровадити *Систему Розширеної Відповідальності Виробника (Extended Producer Responsibility, EPR)* та *Систему Повернення Депозитів (Deposit Return System, DRS)*.

Розширена відповідальність виробника (EPR) має на меті дві основні екологічні цілі (UNEP 2023d):

- стимулювати виробників до розробки ресурсозберігаючих продуктів із низьким рівнем впливу;

- забезпечити ефективний збір відходів, екологічно безпечну обробку зібраних продуктів і покращити рівень повторного використання та переробки.

EPR передбачає відповідальність виробників за свою продукцію протягом усього життєвого циклу, включно з етапом після споживання. Таким чином, це допомагає досягти екологічних цілей, таких як цілі переробки. Система повернення депозитів передбачає, що покупці товарів у пакованні сплачують депозит або заставу, які повертаються їм після здавання пакування в приймальний пункт.

Впровадження системи розширеної відповідальності виробника має передувати впровадженню депозитної системи.

### *Депозитна система в Польщі*

З 1 січня 2025 року у Польщі буде введено депозитну систему для одноразових пластикових пляшок до 3 літрів, багаторазових скляних пляшок до 1,5 літрів та металевих банок до 1 літра.

При реалізації напоїв в одноразовій або багаторазовій упаковці, на яку поширюється депозитна система, до ціни напоїв додається застава, розмір якої буде вказано в регламенті. При поверненні упаковки не потрібно буде пред'являти квитанцію для повернення застави, оскільки упаковка, на яку поширюється система, матиме відповідне маркування. Всі комерційні підприємства, незалежно від їхньої площі, стягуватимуть заставу, якщо вони пропонують напої в упаковках, що охоплюються системою. Порожню упаковку, на яку поширюється депозитна система, можна буде повернути у комерційних приміщеннях площею понад 200 м<sup>2</sup>. Комерційні об'єкти площею менше 200 м<sup>2</sup> зможуть добровільно приєднатися до системи збору порожньої тари та повернення застав.

Запровадження депозитної системи має важливе значення також для екології та скорочення викидів парникових газів. DRS для повторного використання утворює значно менше викидів CO<sub>2</sub>, ніж DRS для одноразового пакування.

У той час як EPR довів ефективність з точки зору залучення коштів для оплати управління відходами на основі правил плати за тону, він був загалом неефективним у стимулюванні зменшення відходів (Азійський банк розвитку 2021).

Таким чином, можна стверджувати, що будь-які відходи, які мають настільки низьку відновлювану цінність, що не «варті» збору та обробки, повинні бути перероблені на заводах Waste to Energy або включені з використання.

## *Імплементція Директиви 2019/904 в Україні*

За даними Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України, в 2023 році в країні збиралось понад 9 млн т побутових відходів. До початку активних військових дій в Україні в 2022 році в крупних містах Країни змішані побутові відходи містили біля 25–40% пластикових, паперово-картонних та скляних компонентів.

В рамках адаптації українського законодавства до європейського, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України напрацьовує законопроект, який дозволить імплементувати Директиву 2019/904 та поступово обмежить обіг пластикової продукції одноразового використання на території України.

Зокрема, планується заборонити виробництво, ввезення, введення в обіг та розповсюдження такої продукції, як:

- гігієнічні ватні палички з пластиковою основою;
- ємності з пінополістиролу та пластикові ємності у формі блістерного пакування або лотків – для готових харчових продуктів, які споживаються на місці або беруться на виніс;
- мішалки та соломинки для напоїв;
- палички, що прикріплюються до повітряних куль;
- шпажки;
- одноразові виделки, ножі, ложки, тарілки тощо.

Необхідно зазначити, що впровадження в Україні Директиви 2019/904 значно знизить енергетичний потенціал залишкових ТПВ, енергетичний потенціал яких, відповідно до ієрархії управління відходами (Директива 2008/98/ЄС), необхідно відновлювати на ТЕЦ-на-ТПВ/RDF для вироблення електроенергії, опалення та охолодження. Розраховано, що приблизно до 60% від отриманої кількості теплоти виділяється при спалюванні різних видів пластикових виробів. Відповідно, збір 60% ПЕТ-пляшок знизить майже на 2/3 теплотворну здатність залишкових ТПВ. Автогоріння ТПВ такої калорійності неможливо і буде потребувати обов'язкового використання додаткового висококалорійного палива для підвищення температури горіння. Зазвичай використовується природний газ.

Однак замінити природний газ доцільно шляхом збагачення дутцевого повітря киснем, що теж суттєво підвищує температуру горіння палива. В умовах України кисень доцільно генерувати шляхом електролізу з використанням «зеленої» електроенергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Імплементція решти проаналізованих в статті європейських директив дозволить запровадити в Україні депозитну систему для по-



вторного використання сировини, що сприятиме не тільки сировинній безпеці в контексті циркулярної економіки, але й скоротить кількість захоронення відходів на полігонах.

УДК 662.6

**Є. С. Мірошніченко**

*Інститут теплоенергетичних технологій (ІТЕТ) НАН України, м. Київ*

## **СТВОРЕННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ КОГЕНЕРАЦІЇ НА ОСНОВІ МІСЦЕВИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

Спорудження нових модульних газових когенераційних міні-ТЕЦ в Україні набуло поширення як відповідь на агресивне руйнування теплових електростанцій та мережевої інфраструктури під час військової агресії.

Розповсюдження саме газової генерації зумовлено простотою підключення до газових мереж, універсальністю та швидкістю монтажу та введення обладнання в роботу.

Окупність даного рішення зумовлена збереженням стабільної низької ціни газу (ПСО) для виробників тепла та електроенергії, а також коливаннями на ринку електроенергії, коли власна генерація для бізнесу стає дешевшою ніж живлення від мережі, або через відсутність подачі електроенергії.

Можна спрогнозувати, що потенціал використання газу для вироблення електроенергії буде зменшуватися, як наслідок ціна газу не завжди буде забезпечена державним регулюванням.

Мережа розподілених когенераційних ТЕЦ може бути забезпечена місцевим паливом з урахуванням «вуглецевої нейтральності» біомаси, відсутності в ній сірки, низької генерації оксидів азоту при спалюванні, використання біомаси як екологічно чистого замітника викопних палив набуває все більшої актуальності.

Промислова теплоенергетика не охоплена державним регулюванням цін на енергоносії. Актуальність заміщення газу біомасою в котлах промислових ТЕЦ посилилась із подорожчанням газу, ціна якого для

промисловості є значно більшою, ніж пільгова ціна для ТЕС. Велика різниця цін газу та біомаси дозволяє очікувати окупність у прийнятний термін інвестицій в реконструкцію існуючих котлів. Додатковими аргументами на користь саме реконструкції, а не нового будівництва, є можливість її здійснення в проміжок між виробничими сезонами.

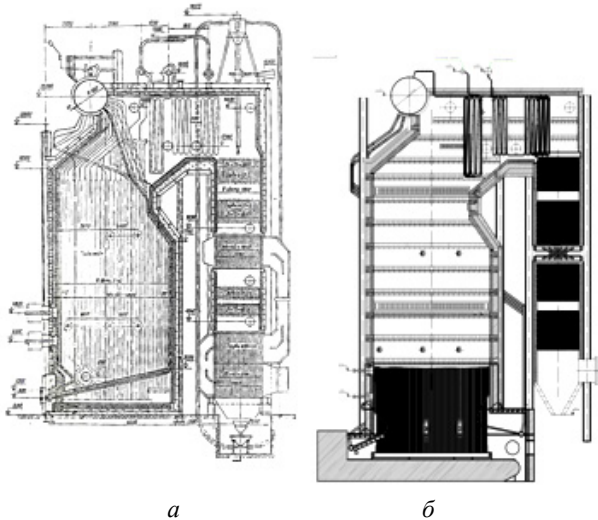
В умовах руйнування значної частини ТЕС, тимчасової окупації або перебування в зоні бойових дій вугільних підприємств та високої комерційної ціни природного газу привертає увагу розвиток розподіленої генерації з використанням вторинних енергетичних ресурсів, зокрема, підприємств харчової та переробної промисловості. Більшість цих ресурсів представлена різними видами відходів біомаси, як-от лушпиння соняшнику, жом цукрових буряків, які вважаються вуглецево нейтральними та містять незначну кількість сірки.

Існуючі проекти перероблення ТЕЦ переробних підприємств зосереджені на споживанні вже підготовленого палива – пелет з лушпиння соняшнику, пелетованого сушеного жому цукрових буряків (з калорійністю до 4200 ккал/кг), вугілля. Автором спроектовано та впроваджено більше 10 різних проектів реконструкції існуючих котлів з застосуванням сучасних колосникових решіток, та досягненням високої ступені автоматизації процесу, показників економічності та дотримання низьких викидів шкідливих речовин.

Найбільша складність при переведенні газомазутних котлів на спалювання біомаси полягає в зміні розподілу тепловіддачі продуктів згоряння. В роботі [1] обґрунтовано, що адіабатна температура горіння, від якої залежить тепловіддача до екранів топки, зменшується, а винос теплоти з топки збільшується при збільшенні відношення питомого об'єму продуктів згоряння до калорійності палива  $V_r / Q_i^r$ ,  $\text{нм}^3/\text{МДж}$ , або приведеної питомої витрати продуктів згоряння. При зростанні цієї величини в межах 5–8% переведення котла на інший вид палива можливе за рахунок режимних змін, в межах 8–12% потребує збільшення частки теплоти, сприйнятої в економайзері, а при більшому зростанні потребує збільшення габаритів топки або обмеження паропродуктивності. Приведена питома витрата продуктів згоряння газу при  $\alpha = 1,1$  дорівнює 0,32. Приведена питома витрата продуктів згоряння пелет з лушпиння соняшнику зі складом в робочому стані  $W_r^r = 9,0\%$ ,  $A^r = 8,8\%$ ,  $C = 46,0\%$ ,  $H = 5,0\%$ ,  $O = 30,1\%$ ,  $N = 1,0\%$ ,  $S = 0,1\%$ ,  $Q_i^r = 4272$  ккал/кг в щільному шарі при  $\alpha = 1,4$  перевищує 0,4, тобто, на 25% більша, що потребує і збільшення економайзера, і збільшення габаритів топки та/або обмеження паропродуктивності котла.

Газомазутні парові котли БКЗ-75ГМА Радеківського та Чортківського цукрових заводів, – однобарабанні з природною циркуляцією, П-подібної компоновки (рис. 1, а). Задачею реконструкції було переведення на спалювання пелет з лущиння соняшнику без зміни загальної схеми та габаритів котла.

Основним технічним рішенням було встановлення в подовій частині котла колосникової решітки прямого ходу. За рахунок цього теплосприймаюча поверхня топки зменшилась. З іншого боку, більша, ніж глибина топки, довжина решітки дала можливість організації футерованого запалювального склепіння з фронтальної частини та нефутерованого склепіння з тилової частини на ділянці охолодження і видалення шлаку. Разом з подовженням висоти топки на 0,8 м вниз це компенсувало втрату поверхні. Повітропідігрівник було вилучено та замінено на водяний калорифер в коробі первинного повітря. На звільненому місці добудували ступені киплячого економайзера для компенсації зменшення теплосприйняття топки. Габарити котла залишились без змін (рис. 1, б).



**Рис. 1.** Котел БКЗ-75 ГМА до (а) і після реконструкції (б).

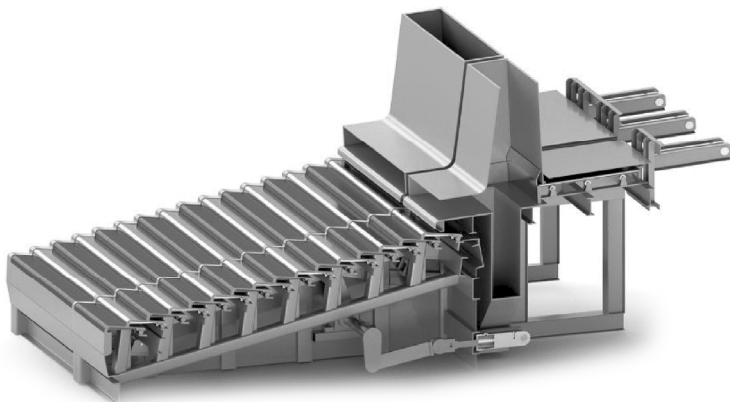
В Україні наявний високий потенціал місцевого викопного та біопалива з меншими показниками якості, що потребує розроблення більш глибоких і досконалих технічних рішень для створення вискоелективних когенераційних енергоблоків для спалювання біопалива з калорій-

ністю до 2500 ккал/кг а також торфу або бурого вугілля у якості резервного палива.

Проблемою є те, що котли цих ТЕЦ – або газомазутні, або переведені на природний газ колишні вугільні. Їх переведення на спалювання відходів біомаси, тим більше – з можливістю використання інших видів палива в якості резервних, потребує модернізації або реконструкції з урахуванням особливостей вторинних енергоресурсів. Тим не менш, можливість використання наявного котельного обладнання значно скорочує капітальні витрати і терміни впровадження.

Готуються до впровадження технічні рішення глибокої реконструкції котлів з впровадженням нових камер спалювання та реконструкцією поверхонь нагріву.

Надійність та якісне регулювання спалювання забезпечується за рахунок застосування у якості паливного пристроїв сучасних похилих решіток (рис. 2) для спалювання вугілля виробництва FPM s/a (Мікулов, Польща) а також спеціальної конструкції паливної камери, що розроблена Інститутом теплоенергетичних технологій НАН України спільно з ТОВ Енергосервісна компанія МСЕ (Україна).



**Рис. 2.** Похила колісникова решітка для для обладнання котлів середньої потужності.

### **Список використаної літератури**

1. Чернявський М. В., Мірошніченко Є. С., Провалов О. Ю. Переведення котлів малої та середньої потужності зі щільним шаром на спалювання твердої паливної біомаси // Енерготехнології та ресурсозбереження. 2021. № 1. С. 71–80. <https://doi.org/10.33070/etars.1.2021.08>

**І. Л. Козлов, В. І. Ковальчук, М. В. Лисак, О. І. Козлов**

*Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса*

## **РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА ВИХОДУ ЗАБРУДНЕНЬ БЛОКУ SMR У РЕЖИМІ НОРМАЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Паризька угода щодо клімату передбачає зменшення Україною викидів до 2030 року на 60% порівняно з 1990 роком [1]. Наближення закінчення термінів експлуатації майже усіх блоків атомних станцій, виробляючих більше 50% енергії і обмеження на використання теплової генерації на базі викопних ресурсів, а також недостатні потужності відновлюваної генерації вимагають застосування більш гнучких технологій.

Технологія малих модульних реакторів (ММР) здатна терміново компенсувати втрачаємі потужності. Очікується, що світовий ринок ММР до 2025 року перевищить \$1 трлн, з перспективою подальшого зростання [2].

Переваги малих модульних установок декларуються без належного обґрунтування кількісними розрахунками необхідних показників безпеки, надійності, екологічності тощо. Зокрема, відсутні відомості про викиди забруднень як у режимах нормальної експлуатації, так і в аварійних ситуаціях.

Працююча АЕС впливає на навколишнє середовище можливим виходом трьох видів забруднень: газоподібних виходів в атмосферу (у тому числі радіоактивних); виходів тепла; рідких радіоактивних відходів.

Метою викладаємого матеріалу є оцінка потенційних викидів забруднень модуля **SMR-160** у режимі нормальної експлуатації. Для цього виконано аналіз технологічної структури та компоновки модуля і кількісна оцінка можливих виходів забруднень.

Модулі **SMR-160** призначені для виробництва електроенергії, а також централізованого теплопостачання, опріснення води та виробництва водню. Легководний реактор PWR з знесолоною водою під тиском (15,5 МПа), забезпечує теплову потужність 525 МВт (160 МВт електричної енергії). Реактор і парогенератор об'єднані в моноблок вертикальної архітектури, що забезпечує в першому контурі природною

циркуляцією (витрата теплоносія  $3,8 \times 10^6$  кг/год.). Суттєва автономність дозволяє його розташування в регіонах без енергомереж [3]. В другому контурі теплоносій під тиском 3,4 МПа (витрата  $7,0 \times 10^5$  кг/год). Тривалість паливного циклу 18–24 місяці, а проектний термін експлуатації 80 років. На площі 20–30 тис. м<sup>2</sup>, в залежності від зовнішнього охолодження, міститься: споруди реактора і поводження з паливом, ділянки зберігання відпрацьованого палива, турбогенераторів і перемикачів, градири, резервуари запасу води, будівлі дизель-генераторів і насосної.

Ідентифікація екологічних аспектів потенційних викидів ядерного енергоблоку встановлює зв'язки джерел впливу (елементи діяльності, технологічні процеси, обладнання, послуги та відходи) та видів впливів [4].

Прямий вплив на навколишнє середовище мають: викиди в атмосферу; скидання стічних вод; утворення відходів; водоспоживання; шум; вібрація; електромагнітне випромінювання; радіоактивність (табл. 1).

Таблиця 1

### Ідентифікація викидів

Тип викиду	Об'єкт	Субстанція
Теплові	Градири	Пар та краплинна волога
	Резервуари для зберігання води	
	Насосна охолоджувальної води	
	Будівля дизель-генераторів	Газ та тепловий потік
Теплові та радіаційні	Система сухого зберігання відпрацьованого палива	Повітря з іонізованими компонентами
Радіоактивні	Захисна оболонка	Газоаерозольні та рідкі
	Допоміжна споруда реактора	
	Будівля з переробки палива	
Вібрація, шум	Турбогенераторна ділянка	Звукові та електромагнітні потоки
	Будівля дизель-генераторів	
Електромагнітні	Ділянка перемикачів	

Теплове забруднення створює теплові острови, місцеву інверсію температур, викликаючи зміни мікроклімату [5]. Основна частка теплових скидів припадає на системи конденсації пари турбін. Система охолодження SMR 160 виносить у навколишнє середовище тепло з:

парою турбіни	водою конденсатора	випаром	продувкою	з повітрям
550 т/год	27 500 м <sup>3</sup> /год	460 м <sup>3</sup> /год	81 т/год	27 т/год

Загальний тепловий скид –  $1,23 \cdot 10^9$  кДж/год, або 1064 кДж/(МВт·год), значно нижче від блоків ВВЕР 1000 (1627) і АР1000 (1625) [6].

Теплові та радіаційні викиди надходять від система сухого зберігання палива, заглибленої в землю (термін служби до 120 років). Згідно розрахункам, залишкові тепловиділення активної зони після 3-річного витримування в басейні становлять 310 кВт(кДж/с), що не більше 0,1% теплового викиду градирні [7]. Динаміка зниження залишкових виділень тепло активної зони має степеневий характер ( $N_{wi} = 612,73 \cdot T^{-0,658}$ , де  $T$  – термін зберігання, роки).

Середньодобове значення потужності дози гамма-випромінювання по майданчику становлять 10–12 мкР/год, що еквівалентно рівню «нульового фону».

Основні джерела радіоактивних викидів містить захисна оболонка: моноблок реактор-парогенератор та басейн витримки відпрацьованого палива.

Моноблок реактор-парогенератор являє собою зварну конструкцію зі знімною кришкою реактора, а також фланцевими патрубками для комунікації з зовнішніми системами. Викиди з агрегату теплоносія через фланцеві переходи знімної кришки і патрубків не перевищує  $1,23 \cdot 10^{-17}$  м<sup>3</sup>/с. Для інших роз'ємів величина буде меншою на порядки [8].

Басейн витримки відпрацьованого палива – відкрита прямокутна ємність. Розрахункова оцінка випару за стандартом VDI 2089 дорівнює близько 0,8 дм<sup>3</sup>/годину [9]. Потік активності у герметичу оболонку становить для закритого дзеркала басейну  $8,48 \cdot 10^{10}$  Бк/год і не перевищує нормативів (табл. 2).

Таблиця 2  
**Контрольні рівні газоаерозольних викидів (Бк·доба<sup>-1</sup>)[10]**

Нуклід	ДЖН	ІРГ	<sup>131</sup> I	<sup>60</sup> Co	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>3</sup> H
Норматив	$4,8 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^8$	$9,3 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^5$
Розрахунок	$0,3 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^{12}$	$3,3 \cdot 10^6$	$9,3 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$	–

Допоміжна будівля реактора містить обладнання для управління турбогенератором, підігрівачі, газові фільтри та інше обладнання, з незначною інтенсивністю аерозольних викидів.

Будівля з переробки палива містить ємності тимчасового зберігання відпрацьованих активних зон, обладнання їх локалізації в контейнери, системи охолодження та очищення води басейнів витримки. Годинне надходження активності в об'єм герметичної оболонки, у припущенні виносу радіонуклідів з випаром, складає 131 097,6 Бк/год (табл. 3).

Таблиця 3

**Нормативні і розрахункові значення газоаерозольних викидів  
(Бк · доба<sup>-1</sup>)**

Нуклід	ДЖН	ІРГ	<sup>131</sup> I	<sup>60</sup> Co	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>3</sup> H
Норматив	$4,8 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$1,7 \cdot 10^8$	$9,3 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^5$
Розрахунок	$7,5 \cdot 10^6$	$5,8 \cdot 10^{13}$	$9,6 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^5$	—

Викиди вібрації, шуму і перемикачів не перевищують безпечні для людини рівні [11].

**Висновки**

1. Найбільші питомі теплові викиди очікуються від системі охолодження (1064 кДж/(МВт·год)).
2. Викиди теплоносія в захисній оболонці від роз'єму кришки не перевищують  $1,23 \cdot 10^{-17}$  м<sup>3</sup>/с. Для інших роз'ємів величина буде значно меншою.
3. Відчутні виходи радіоактивності можна очікувати з басейну витримки відпрацьованого палива. Величини виходу, за винятком ІРГ, не перевищують нормованих величин для реакторів, що експлуатуються. Потік активності у герметичну оболонку не перевищує  $8,48 \cdot 10^{10}$  Бк/годину.
4. Більш напружена ситуація може мати місце в приміщенні переробки палива, де добові величини виходу ІРГ дещо перевищують нормовані.
5. Викиди вібрації, шуму та електромагнітного випромінювання не перевищують традиційних величин.

**Список використаної літератури**

1. Santos-Iglesia C., Fernández-Arias P., Antón-Sancho Á., Vergara D. Energy Consumption of the Urban Transport Fleet in UNESCO World Heritage Sites: A Case Study of Ávila (Spain) // Sustainability. 2022. 14. 5641. [CrossRef].
2. Прогноз: К 2025 году глобальный мировой рынок стали ... ukrmet.dp.ua, <https://ukrmet.dp.ua> > 2017/06/28 > prognoz-k-2025-...



3. Holtec's SMR-160 Small Modular Reactor, Ten Years in Development, Enters USNRC's Licensing Process. Holtec Highlights, #35.21 | November 3, 2020, Page 1 of 6
4. Малые модульные реакторы: глобальные перспективы. Атомный эксперт. <http://atomicexpert.com> › small\_modular\_reactors
5. Ядерная энергия: мифы и реальность. Heinrich-Böll-Stiftung. <https://ua.boell.org> › sites › default › files › mytho
6. Тема 4. Ядерная энергетика и окружающая среда wdcб.ru. <http://www.wdcб.ru> › mining › book › cap4
7. Королев А. В., Ищенко О. П. Потенціал відпрацьованого ядерного палива // Ядерна енергетика та довілля. 2015. № 2(6). С. 61–64.
8. Шишкин С. В., Шишкин С. С. Расчет на герметичность фланцевых соединений // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. № 3. С. 21–26.
- 9.осушители воздуха для бассейнов. Формула VDI 2089. РФК Климат. <https://www.rfclimat.ru> › tech › dehumidifiers\_for.
10. Атомэнергосервис» АТ03-14.564.ОД.1 4. Державна інспекція ядерного регулювання України. <https://snriu.gov.ua> › app › sites › docs › final\_3
11. Малая атомная энергетика и автономные энергоисточники <https://www.ippe.ru> › nuclear-power › small-power-npp.

УДК 620.952;662.63

**В. О. Кремньов, Г. В. Беляєв, І. П. Беляєва, К. Л. Жуков,  
Н. С. Корбут, В. Г. Стецюк, А. В. Тимощенко**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ЛІСІВНИЦТВО І ЕНЕРГЕТИКА – ЛІСГОСП ЯК ДЖЕРЕЛО ПАЛИВНИХ РЕСУРСІВ**

Основу лісопромислового комплексу України становить лісове господарство. Воно вивчає, веде облік і проводить роботу щодо збереження лісів, посилює їхні корисні природні властивості, забезпечує розширене відтворення та поліпшення їхньої якості, підвищення продуктивності, а також сприяє раціональному використанню земельного лісового фонду і невиснажливому користуванню лісом для забезпечення потреб у деревині та іншій лісовій продукції. Основи ведення лісового господарства визначено відповідними законодавчими актами (лісове законодавство, лісовий кодекс України). Для лісового господарства України характерні

захисний та захисно-промисловий напрями ведення. Заготівлю деревини в порядку рубок головного користування проводять у межах розрахункової лісосіки, а при веденні рубок догляду за лісом – виходячи з необхідності поліпшення породного складу та якості лісів.

Державне агентство лісових ресурсів України проводить свою діяльність на основі розробленого та затвердженого Лісового кодексу України [1].

*Зміст організації лісового господарства.*

Організація лісового господарства передбачає:

- 1) розроблення та затвердження в установленому законом порядку нормативно-правових актів з ведення лісового господарства;
- 2) поділ лісів на категорії залежно від основних виконуваних ними функцій, виділення особливо захисних лісових ділянок;
- 3) установлення віку стиглості деревостанів, норм використання лісових ресурсів;
- 4) проведення лісовпорядкування;
- 5) ведення державного лісового кадастру, обліку лісів;
- 6) ведення моніторингу лісів;
- 7) проведення лісової сертифікації;
- 8) здійснення інших організаційно-технічних заходів згідно з основними вимогами щодо ведення лісового господарства, визначеними законодавством.

Виходячи з вимог діючого законодавства та екологічних реалій сьогодення основними пріоритетами ведення лісового господарства України є [2]:

- збільшення лісистості території країни;
- нарощування природоохоронного та ресурсного потенціалу лісів, збереження біологічного різноманіття лісових екосистем;
- підвищення стійкості лісових екосистем до негативних факторів навколишнього середовища – зміни клімату, зростаючого антропогенного навантаження, лісових пожеж, хвороб та шкідників лісу;
- розширення застосування методів раціонального використання лісових ресурсів;
- підвищення продуктивності, поліпшення якісного складу лісових насаджень.

Запровадження принципів невиснажливого лісокористування та екосистемного підходу у веденні лісового господарства, використання сучасної техніки і технологій дозволить забезпечити зростання еколо-

гічної, економічної та соціальної функції лісів у сталому розвитку нашої країни.

Основним видом догляду за лісом, що вирощується, є так звані **рубки догляду**. Вони полягають в періодичній вирубці в насадженнях частки дерев та проводяться з моменту виникнення насадження до його головної рубки – впродовж декількох десятків років (від 40 до 100 років в залежності від умов росту).

Обсяги рубок догляду за лісом та **санітарних рубок**, передбачені Державною програмою «Ліси України 2002–2015» [3] і затвердженими у встановленому порядку проектами організації та розвитку лісового господарства Держкомлісгоспу України (у середньому – 6,3 млн м<sup>3</sup> щорічно) кожен рік істотно недовиконувався. Джерела фінансування лісового господарства України, які існують, покривають не більше 50% потреби. Відсутність належного догляду перешкоджає розвитку лісу, призводить до його захаращеності, підвищенню пожежної безпеки та істотному зниженню природоохоронних можливостей.

Побічними результатами вирішення основної господарської задачі – вирощування стиглого лісу шляхом рубок догляду, є заготівля **ділової деревини, технологічних дров, паливних дров** і виникнення **відходів: хворосту, хмизу та пнів**.

Цілком очевидно, що лісорослинницькій діяльності притаманні об’єктивні протиріччя: об’єктивно обсяги рубок догляду визначаються завданнями лісоводства, а ліквідні продукти, що при цьому виникають, повинні бути реалізовані у відповідності до ринкового попиту. Природно, що співпадіння пропозицій та попиту може бути тільки випадковим. Особливо це відноситься до дров.

Поводження з відходами наступне: пні залишають для природного біологічного розпаду, а хворост і хмиз безпосередньо після вирубки збирають в місцях виникнення в кучі, а в певний період року (по протипожежним вимогам) доставляють на відкриті місця (галявини, узлісся тощо) і спалюють. Ліквідні продукти, що не знайшли збуту, після збереження впродовж деякого часу також вибраковують та спалюють.

Потенційно ліквідні продукти, а саме, технологічні і паливні дрова, що не знайшли своєчасного попиту – псуються, після чого вони вибраковуються та знищуються як і хмиз тому, що створюють пожежну небезпеку і потребують значних витрат на організацію збереження з дотриманням правил протипожежної безпеки. Щорічне спалювання лісових ресурсів в лісгоспах є вимушеним, але закономірним при існуючій організації справи.

*Оптимальна густина насаджень стиглого лісу, сформованого лісовим господарством в результаті багаторічної лісорослинницької діяльності, залежить від району зростання, складу насаджень і складає від 300 до 500 дерев на 1 га. Таким чином, за період вирощування лісу до його передачі у головне господарське користування у середньому підлягає вирубці більше ніж 90% дерев без прямого зв'язку з попитом на продукти, що при цьому виникають.*

Водночас, деревина може бути основою високоякісного палива для комунальної теплоенергетики, а за умов безпосередньої близькості цих об'єктів до лісу і основою високоекономічного теплопостачання за рахунок скорочення витрат на складування та транспортування.

При цьому, використання деревини на теплових електростанціях і у котельнях замість палива на основі викопних продуктів забезпечує зменшення емісії парникових газів в атмосферу та є вельми бажаним з позицій глобальної екології.

Отже, при забезпеченні додаткових джерел фінансування догляду за лісом виникає і додатковий відновлювальний паливний ресурс.

Щорічний загальний обсяг деревини, що не використовується суспільством, складає 15–16 тис. м<sup>3</sup>, – левова доля якої (85%) просто спалюється, забруднюючи атмосферу вуглецем.

Згідно нормативів, після валки дерев у ґрунті залишається 31% деревини (середній вік насаджень 30 років), з них 25% (2,8 тис. м<sup>3</sup>) – промислові запаси.

На суцільних рубках (згарищах, всихаючих насадженнях, ППР, квартальних просіках) залишається до 8 тис.м<sup>3</sup> кореневої деревини, яку можна переробити та використати.

### **Список використаної літератури**

1. ЛІСОВИЙ КОДЕКС УКРАЇНИ. Документ 3852-ХІІ, чинний, поточна редакція. Редакція від 04.01.2024, підстава – 3505-ІХ. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text>.

2. ПОЛОЖЕННЯ про Державне агентство лісових ресурсів України. [Електронний ресурс]: Інформація з офіційного веб-сайту Держлісагентства. URL : <https://forest.gov.ua/agentstvo/polozhennya-pro-derzhlisagentstvo>.

3. Державна цільова програма «Ліси України». Документ 977-2009-п, чинний, поточна редакція. Редакція від 02.11.2012, підстава – 970-2012-п. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/977-2009-%D0%BF#Text>

**В. О. Кремньов, Г. В. Беляєв, І. П. Беляєва, К. Л. Жуков,  
Н. С. Корбут, В. Г. Стецюк, А. В. Тимощенко**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ЛІСІВНИЦТВО І ЕНЕРГЕТИКА – ЕКОНОМІЧНІ ФОРМИ ДЕРЕВНОГО ПАЛИВА ДЛЯ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ ОБ’ЄКТІВ**

Робота, що пропонується є черговою із запланованого циклу [1, 2], спрямованого на організацію сталої системи енергетичного використання побічних товарних продуктів і неліквідних відходів від основної лісорослинницької діяльності та власної деревообробки Державних лісгосподарських підприємств України. У попередній публікації наголошувалось, що Державні лісгосподарські підприємства (ДЛГП) практично не мають довгострокових юридично зобов’язуючих господарчих відносин з об’єктами енергетики.

Ми впевнені, що за таких умов створення сталої системи широкого енергетичного використання побічних продуктів лісівництва і його ресурсоцінних неліквідних відходів практично неможливе.

Започаткування, постійне відтворення і поступове розширення господарчих відносин ДЛГП з теплогенеруючими об’єктами має бути синергійним, тобто взаємовигідним. Для ДЛГП постійний прогнозований попит на деревну паливну тріску – це важливе гарантоване джерело додаткового фінансування лісівництва, як такого. Протягом багатьох років галузь потерпає від хронічного недофінансування.

Для теплогенеруючих об’єктів висушена деревна паливна тріска це місцеве високоякісне тверде дисперсне паливо з малою зольністю і низьким вмістом сірки. Тобто, це екологічне паливо.

Щодо, так званої, глобальної екології, то воно визнане таким, що відповідає вимогам «зеленого переходу», а по відношенню до локальної екології поступається лише природному газу. Щодо інтересів теплогенеруючих об’єктів особливо на газифікованих територіях то вагомими мотивами є зниження залежності від поставок природного газу і насамперед економія коштів у порівнянні з закупівлею природного газу, який має постійну тенденцію до подорожчання.

В свою чергу така економія може бути досягнута лише за умов оптимізації логістичних витрат (на зберігання і перевезення сировини та деревного палива). Ці чинники для такого палива як деревна тріска мають особливе навіть вирішальне значення. Це питання потребує певного роз'яснення.

Об'ємна вага «повітряно-сухої» паливної тріски (вологість  $\leq 15\%$ ) становить (в залежності від ботанічних сортів деревини) 160–200 кг/м<sup>3</sup>. Це призводить до того, що у порівнянні з вугіллям, з урахуванням теплотворної здатності і щільності обох палив, об'єм сховища тріски перевищує об'єм вугільного сховища аналогічної енергомісткості більше ніж у 20 разів.

Тобто, відстань перевезень є одним з вирішальних факторів комерційної ефективності проектів, а, відповідно, і їх інвестиційної привабливості.

Теплогенеруючі об'єкти, на яких планується паливне використання тріски мають бути розташованими на околицях урбанізованих територій чи у сільській місцевості (технологічні котельні промислових підприємств, комунальні опалювальні котельні, котельні та опалювальні пункти лікарень, санаторіїв, шкіл, дитячих садків, закладів культури тощо).

Щодо теплогенеруючих об'єктів, розташованих у глибині урбанізованих територій використання паливної тріски ускладнюється через необхідність перевезень великого об'єму тріски крізь міську забудову. Можливо у деяких випадках перевагу слід віддати брикетам чи скоріше заздалегідь висушеним дровам.

Отже, на сьогодні комерційно доступними є спеціалізовані транспортні засоби – трісковози різного об'єму (до 90 м<sup>3</sup>).

Спалювати на теплогенеруючих об'єктах доцільно «повітряно-суху» тріску (вологість  $\leq 15\%$ ), (це відповідає, як традиційному досвіду щодо паливного використання деревини, так і сучасному науково-технічному підґрунтя підготовки до спалювання твердих палив.

Щодо технічної можливості спалювання вологої деревини, то це дійсно можливо, але вкрай нераціонально, як з суто техніко-економічних міркувань, так і екологічних (через неможливість організувати якісний процес горіння).

Крім «повітряно-сухої» паливної тріски на теплогенеруючих об'єктах можливо використовувати таку традиційну форму деревного палива, як «повітряно-сухі» поліна. Поліна одержують наступним чином. «Хлисти» чи «баланси» дров'яної деревини (наближені до цилінд-

ричної форми стовбури різної довжини) розпилюють у поперечному напрямі на так звані «колоди», які після цього розколюють на поліна у осьовому напрямі. В залежності від діаметра кожен поліна розколюють на 2 чи 4 поліна. Саме така форма деревного палива, як поліна традиційно широко використовувалась в системах опалювання до кінця 50-х років 20-го століття. Безпосередньо на спалювання поліна потрапляли у «повітряно-сухому» стані. Сушіння поліна проводилося під час їх багатомісячного зберігання у дров'яних сараях, які захищали від опадів, де поліна розташовувались хаотично у купі висотою  $\approx 2$  м на опірній решітці. Циркуляція повітря крізь об'єм купи забезпечувалась завдяки «самотязі». Такі сховища сушарки були широко розповсюджені як у сільській місцевості так і на урбанізованих територіях.

Майже вся вільна прибудинкова територія між багатоповерховими будинками була забудована дров'яними сараями-сушарками. Кожний відповідальний власник облікового рахунку на житлове приміщення (в тому числі у комунальних квартирах) обов'язково мав у дворі індивідуальний дров'яний сарай (сховище-сушарку). В сукупності такі сховища-сушарки являли собою величезну інфраструктуру логістики поєднану з сушінням. Ця інфраструктура на урбанізованих територіях поступово знищувалась по мірі переходу, спочатку на газове, а потім на центральне опалення. В сільській місцевості вона зберігалась значно довше, але і там була поступово ліквідована по мірі газифікації територій.

В наведеному описі важливим є практичний досвід який довів, що така форма як поліна дозволяє організувати сушіння, а «повітряно-сухі» поліна не піддаються біологічному руйнуванню і строк їх зберігання в умовах захисту від опадів практично необмежений.

Справа в тому, що дров'яна деревина при неорганізованому зберіганні піддається руйнуванню під впливом біологічних факторів; згодом її забраковують, знімають з балансу і переводять у категорію неліквідних відходів, які підлягають знищенню.

Останніми роками навіть на газифікованих територіях з'явився поступово зростаючий попит на дров'яну деревину чи поліна з боку сільських мешканців і володарів дач та садових будинків. Причина очевидна – зростання ціни на газ. Цей попит скоріш за все буде поступово зростати по мірі відновлених опалювальних печей та дров'яних сарайв.

Отже задачу зберігання і сушіння ця категорія користувачів «бере на себе», як це було у минулому. Щодо теплогенеруючих об'єктів

особливо на урбанізованих територіях вони на відміну від сільських мешканців не мають вільної території для зберігання і сушіння багатомісячного запасу полін і потребують регулярного доставлення «повітряно-сухих» полін на невелике проміжне сховище, яке не здатне виконувати функцію сушіння полін. Таким чином, доходимо висновку, що теплогенеруючі об'єкти можуть з успіхом використовувати у «повітряно-сухому» стані як поліна так і паливну тріску, але поліна необхідно висушувати у лісгоспах тому, що організувати цей багатомісячний процес поєднаний зі зберіганням на теплогенеруючих об'єктах неможливо через брак території.

Щодо тріски то її технічно можливо досушувати безпосередньо на теплогенеруючих об'єктах, у сушарках безперервної дії безпосередньо перед спалюванням. Отже можна прийняти, що при відновленні паливного використання деревини як сировини для виробництва місцевого відновлюваного паливного ресурсу для теплогенеруючих об'єктів доцільні дві альтернативні форми: попередньо висушені у лісгоспах поліна чи паливна тріска, а також її напівфабрикат з вологістю  $\leq 30\%$ , який досушується на теплогенеруючих об'єктах.

Тобто у сучасних умовах на лісгоспи припадають задачі не тільки заготівлі пожежобезпечного зберігання, а також і зневоднення до цільової вологості (поліна) чи проміжної (тріска).

### **Список використаної літератури**

1. Кремньов В. О., Беляєв Г. В., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г., Тимощенко А. В. Досвід розробки проектів переведення енергогенеруючих об'єктів з природного газу на деревне паливо із місцевих відновлюваних ресурсів // Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики : зб. праць / Інститут промислової екології. Київ : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2022. С. 177–180.

2. Кремньов В. О., Беляєв Г. В., Жуков К. Л., Корбут Н. С., Стецюк В. Г., Тимощенко А. В. Лісівництво і енергетика – нова зустріч після тимчасової розлуки // Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики : зб. праць / Інститут промислової екології. Київ : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2022. С. 181–184.



**Н. М. Фіалко, Р. В. Дінжос, Ю. В. Шеренковський, Н. О. Меранова,  
В. Л. Юрчук, Д. П. Хміль, Л. П. Федосенко, О. Є. Малецька,  
М. І. Чехаровська, І. Л. Дашковська**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МІКРО- І НАНОКОМПОЗИТИВ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

Перспективи застосування полімерних мікро- і нанокомпозитів, безпосередньо пов'язані з вивченням їх теплофізичних властивостей і структури. Цій темі приділена певна увага в низці досліджень [1–30]. Однак залишаються питання, які потребують детального аналізу. Особливий інтерес становлять дослідження характеристик полімерних мікро- і нанокомпозиційних матеріалів для елементів теплоенергетичного устаткування. Зокрема, важливим є вивчення їх теплофізичних властивостей у широкому діапазоні зміни вмісту наповнювачів, визначення впливу на теплопровідність зазначених матеріалів ступеня кристалічності полімерної матриці тощо.

Дана робота присвячена встановленню закономірностей впливу вмісту різних наповнювачів на теплопровідність, теплоємність полімерних мікро- і нанокомпозитів і ступінь кристалічності полімерної матриці. Отримані результати можуть бути використані при розробці полімерних композиційних матеріалів для відповідальних деталей теплоенергетичного обладнання.

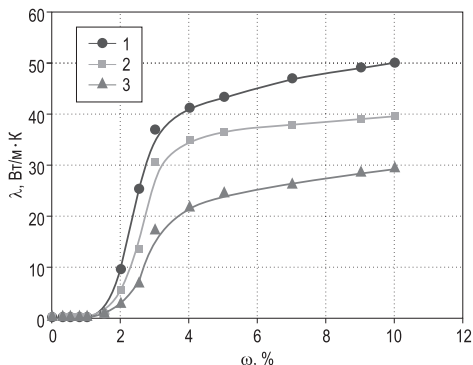
**Результати досліджень.** В роботі виконано експериментальні дослідження теплофізичних та структурних характеристик полімерних мікро- та нанокомпозиційних матеріалів на основі поліаміду 6 при його наповненні вуглецевими нанотрубками (ВНТ), мікрочастинками міді або алюмінію. Для виготовлення нанокомпозитів застосовувався метод змішування компонентів у розплаві полімеру за допомогою спеціального дискового екструдера [12]. Вміст наповнювачів змінювався від 0,3% до 10%, що відповідає наявності суттєвої залежності теплопровідності композитів від вмісту наповнювачів. Температура композиційних матеріалів варіювалась в діапазоні від 305 до 500 К, який включає

температуру плавлення полімерної матриці у композиційному матеріалі, що дорівнює 490 К.

Теплофізичні властивості досліджуваних композиційних матеріалів визначалися з урахуванням стандартних методичних підходів. Для визначення їх теплопровідності використовувався удосконалений прилад ІТ- $\lambda$ -400, а масової питомої теплоємності – метод диференціальної скануючої калориметрії на установці DSC-2 з модифікованим програмним забезпеченням.

На рис. 1 наведено результати експериментальних досліджень щодо теплопровідності розглянутих композитів при варіюванні величини масової частки наповнювачів (ВНТ та мікрочастинок міді або алюмінію). На рис. 2 представлено експериментальні температурні залежності питомої теплоємності досліджуваних композитів для різних значень масової частки наповнювачів.

**Рис. 1.** Залежність від масової частки наповнювачів коефіцієнта теплопровідності мікро- і наноконпозиційних матеріалів на основі поліаміду 6, наповнених різними наповнювачами:  
1 – ВНТ; 2 – мікрочастинки Cu;  
3 – мікрочастинки Al.

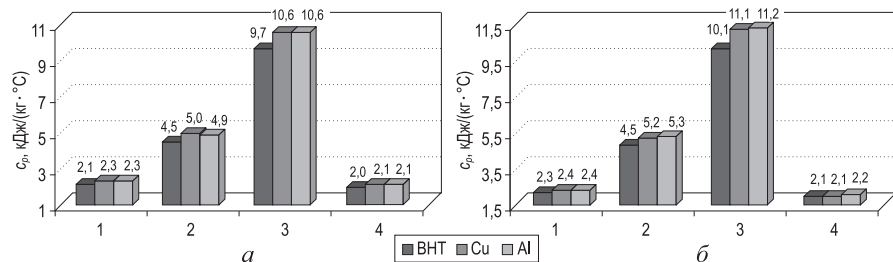


Згідно з отриманими даними для аналізованих композиційних матеріалів спостерігається підвищення їх коефіцієнта теплопровідності  $\lambda$  зі збільшенням масової частки наповнювача  $\omega$  (рис. 1). При цьому різке зростання їх коефіцієнта теплопровідності має місце при відносно невеликих значеннях  $\omega$ . Як видно з рис. 1, на концентраційних залежностях  $\lambda = f(\omega)$  видно чітко виражений стрибок коефіцієнта теплопровідності, так званий поріг перколяції. Він пов'язаний з утворенням з частинок наповнювача безперервних перколяційних кластерів, які грають роль теплопровідних каналів. Чим нижче теплопровідні властивості наповнювача, тим більше значення перколяційного порогу і нижче швидкість підвищення коефіцієнта теплопровідності композиту при збільшенні масової частки наповнювача. За рівнем теплопровідних

властивостей наповнювачі, що розглядаються, в порядку зменшення ранжуються наступним чином – ВНТ, Cu і Al. Поздовжня теплопровідність одиночних нанотрубок при кімнатній температурі знаходиться в межах 2800–6000 Вт/(м·К). Теплопровідність Cu та Al становить 384 Вт/(м·К) та 209 Вт/(м·К) відповідно. Значення же відповідних порогів перколяції збільшуються від полімерів, наповнених ВНТ, до наповнених Cu і далі Al.

Різка підвищення  $\lambda$  композитів після досягнення перколяційного порога змінюється на повільніше зростання їх теплопровідних властивостей зі збільшенням масової частки наповнювача. Така зміна відповідає значенню масової частки  $\omega = 3\%$  при використанні всіх наповнювачів.

Результати дослідження температурної залежності питомої теплоємності  $c_p$  композитів, що розглядаються, свідчать, що ця залежність має яскраво виражений екстремальний характер (рис. 2). При цьому максимум  $c_p$  відповідає температурі плавлення  $T_m$  композиційного матеріалу, яка у розглянутій фізичній ситуації для всіх досліджуваних значень  $\omega$  практично дорівнює температурі плавлення полімерної матриці.



**Рис. 2.** Залежність від температури питомої теплоємності  $c_p$  полімерних композитів на основі поліаміду 6, наповнених ВНТ, мікрочастинками міді або алюмінію для різних значень масової частки наповнювача  $\omega$ : а –  $\omega = 3\%$ ; б –  $10\%$ ; 1 –  $T = 460$  К; 2 –  $480$  К; 3 –  $490$  К; 4 –  $500$  К.

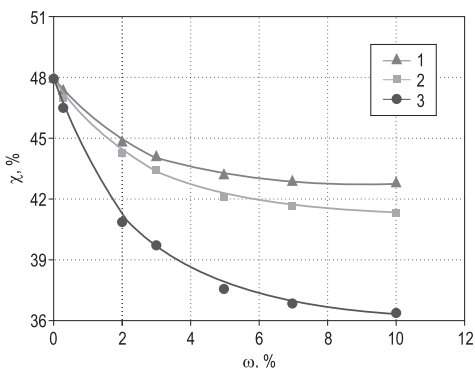
Як видно з рис. 2, теплоємність  $c_p$  композиційних матеріалів дещо збільшується зі зростанням масової частки наповнювача  $\omega$ . При цьому для фіксованої величини  $\omega$  найбільші значення теплоємності мають місце при наповненні полімерної матриці Al, дещо менші – Cu і найменші – ВНТ.

На основі результатів дослідження залежності теплоємності композитів від температури визначено ступінь кристалічності полімерної

матриці  $\chi$  цих композитів. Значення ступеня кристалічності поліаміду 6 у досліджуваному діапазоні зміни масової частки  $\omega$  наповнювачів наведено на рис. 3. Як показали дослідження, збільшення масової частки наповнювача призводить до зменшення величини  $\chi$ . Найбільш суттєве зменшення спостерігається при наповненні поліаміду 6 вуглецевими нанотрубками, менш значне – для Cu і найменше – для Al. Це пов'язано з тим, що з ростом масової частки наповнювача збільшується ступінь розгалуженості перколяційних сіток. З огляду на те, що ефективність утворення перколяційних структур є вищою при наповненні полімеру вуглецевими нанотрубками у порівнянні з Cu і Al, зменшення ступеня кристалічності полімерної матриці зі збільшенням  $\omega$  відбувається більш різко для композитів, наповнених ВНТ, порівняно з Cu і Al.

**Рис. 3.** Залежність ступеня кристалічності поліаміду 6 від масової частки наповнювача  $\omega$  для композитів, наповнених різними наповнювачами:

- 1 – мікрочастинки Al;
- 2 – мікрочастинки Cu;
- 3 – вуглецеві нанотрубки.



На основі аналізу отриманих даних щодо особливостей залежності  $\chi = f(\omega)$  можна виділити три зони, які відрізняються інтенсивністю зменшення ступеня кристалічності зі збільшенням  $\omega$ . В зоні, що відповідає низьким значенням  $\omega$  (менше, ніж 2%), спостерігається різке зменшення ступеня кристалічності матриці. Тобто наявність відносно невеликої кількості частинок наповнювача, які не утворюють виражених перколяційних структур, призводить до різкого зниження ступеня кристалічності  $\chi$ . У наступній зоні, що відповідає діапазону масової частки наповнювача приблизно від 2% до 3%, зміна ступеня кристалічності  $\chi$  із збільшенням  $\omega$  відбувається більш повільно. У зоні, де  $\omega > 3\%$ , інтенсивність зменшення  $\chi$  із збільшенням  $\omega$  є ще нижчою. Це, може бути пояснено тим, що збільшення ступеня розгалуження сітки у цій зоні має менший вплив на утворення кристалічних структур.

## Висновки

Для полімерних мікро- та нанокompозитів на основі поліаміду 6 наповнених ВНТ або частинками міді чи алюмінію, виконано комплекс експериментальних досліджень їх теплофізичних властивостей – коефіцієнта теплопровідності та питомої теплоємності.

Показано, що найбільш високі величини коефіцієнта теплопровідності композитів мають місце при наповненні поліаміду 6 вуглецевими нанотрубками, менш високі – мікрочастинками С<sub>2</sub>, і найнижчі – мікрочастинками АІ. Встановлено, що зі збільшенням масової частки наповнювачів спостерігається підвищення значень теплоємності композиційних матеріалів у всьому аналізованому діапазоні температур. Показано, що найбільші значення теплоємності мають місце при наповненні полімерної матриці алюмінієм, дещо менші – при наповненні міддю, і найменші – вуглецевими нанотрубками.

Визначено вплив матеріалу та масової частки наповнювача на ступень кристалічності полімерної матриці. Встановлено, що зменшення ступеня кристалічності зі зростанням масової частки наповнювача є найбільш суттєвим при використанні як наповнювача ВНТ, менш значним – міді, і найменшим – алюмінію.

## Список використаної літератури

1. Фиалко Н. М., Динжос Р. В., Навродская Р. А. Полимерные микро- и нанокompозиты как объекты теплофизических исследований для элементов теплоэнергетического оборудования // Промышленная теплотехника. 2017. № 2. С. 36–45. <https://doi.org/10.31472/ihe.2.2017.06>
2. Долинский А. А., Фиалко Н. М., Динжос Р. В., Навродская Р. А. Влияние методов получения полимерных микро- и нанокompозитов на их теплофизические свойства // Промышленная теплотехника. 2015. № 4. С. 5–12. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2015.01>
3. Фіалко Н. М., Дінжос Р. В., Прокопов В. Г., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Навродська Р. О. Теплофізичні властивості і структуроутворення полімерних мікро- і нанокompозиційних матеріалів. Миколаїв : СПД Румянцева Г. В., 2020. 142 с.
4. Фиалко Н. М., Динжос Р. В. Теплофизические основы создания полимерных микро- и нанокompозитов для элементов энергетического оборудования // Промышленная теплотехника. 2015. № 7. С. 172–176.
5. Дінжос Р. В., Лисенков Е. А., Фіалко Н. М., Клепко В. В. Вплив методу введення наповнювача на теплофізичні властивості систем на основі термопластичних полімерів та вуглецевих нанотрубок // Фізика інженерії поверхні. 2014. Т. 12. № 4. С. 446–453. <https://periodicals.karazin.ua/pse/article/view/1458/3.pdf>
6. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Navrodska R., Izvorska D., Korzhyk V., Lazarenko M., Koseva N. Establishing Patterns in the Effect

of Temperature Regime when Manufacturing Nanocomposites on Their Heat-Conducting Properties // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 4, № 5 (112). P. 21–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236915>.

7. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Aloskko S., Izvorska D., Korzhyk V., Lazarenko M., Mankus I., Nedbaievska L. Establishment of regularities of influence on the specific heat capacity and temperature conductivity of polymer nanocomposites of a complex of defining parameters // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 6, № 12 (114). P. 34–39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245274>

8. Fialko N. M., Dinzhos R. V., Sherenkovskiy Yu. V., Meranova N. O., Navrodska R. O. Thermal conductivity of polymer micro- and nanocomposites based on polyethylene with various methods of their preparation // *Industrial Heat Engineering*. 2017. 39. 4. S. 21–26. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2017.03>

9. Долинский А. А., Фиалко Н. М., Динжос Р. В., Навродская Р. А. Теплофизические характеристики высокотеплопроводных полимерных микро- и нанокompозитов // *Промышленная теплотехника*. 2015. № 5. С. 5–15. <https://doi.org/10.31472/ihe.5.2015.01>

10. Fialko N., Dinzhos R., Navrodska R., Prokopov V., Sherenkovskiy Yu., Meranova N. Thermalphysical properties of polymer micro- and nanocomposites. *International journal for science, technics and innovations for the industry*. International scientific journal “Machines. Technologies. Materials”. Publisher: Scientific Technical Union of Mechanical Engineering. “Industry 4.0”, Sofia, Bulgaria, year XII, ISSUE 4/2018, P. 185–188. <https://stumejournals.com/journals/mtm/2018/4/185.full.pdf>

11. Фиалко Н. М., Динжос Р. В., Шеренковский Ю. В., Меранова Н. О. Влияние длительности процесса смешения компонентов в расплаве полимера на теплопроводность нанокompозитов. 12<sup>th</sup> International scientific and practical conference “Modern directions of scientific research development” (May 18–20, 2022), Chicago, USA. 2022. P. 251–257.

12. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii J., Meranova N., Navrodska R., Izvorska D., Korzhyk V., Lazarenko M., Koseva, N. Establishing patterns in the effect of temperature regime when manufacturing nanocomposites on their heat-conducting properties // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4. № 5(112). P. 21–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236915>

13. Фиалко Н. М., Динжос Р. В., Шеренковский Ю. В., Меранова Н. О., Навродская Р. О. Теплопроводность полимерных микро- и нанокompозитов на основе полиэтилена при различных способах их получения // *Промышленная теплотехника*. 2017. 39, 4. С. 21–26. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2017.03>

14. Dolinskiy A. A., Fialko N. M., Dinzhos R. V., Navrodska R. A. Influence of receipt methods of polymeric micro- and nanocomposites on their thermophysical properties // *Heat Industrial Engineering*. 2015. 37, 4. P. 5–13. <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2015.01>

15. Bulavin L. A., Zabashta Yu. F., Vergun L. Yu., Alekseev A. N.; Yablochkova K. S.; Dinzhos R. V.; Fialko N. M.; Lazarenko M. V.; Andrusenko D. A.; Lazarenko M. M. Nanoclusters and sol–gel transition in water solutions of rigid-chain

polymers // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2023. 765:1. P. 82–89. <https://doi.org/10.1080/15421406.2023.2215021>

16. Zabashta Yu. F., Lazarenko M. M., Alekseev O. M., Ushcats M. V., Hnatiuk K. I., Dinzhos R. V., Fialko N. M., Vergun L. Yu. & Bulavin L. A Features of nanocrystal melting // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2023. 752:1. P. 31–41. <https://doi.org/10.1080/15421406.2022.2091270>

17. Sobchuk A. O., Lazarenko M. M., Yablochkova K. S., Dinzhos R. V., Fialko N. M., Lazarenko M. V., Andrusenko D. A., Gryn S. V., Brytan A. V. & Alekseev A. M. Effects of molecular structure on the dielectric relaxation of substituted cellulose derivatives // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 751:1. 2023. P. 109–120. <https://doi.org/10.1080/15421406.2022.2073535>

18. Fialko N., Dinzhos R., Meranova N., Sherenkovskii J., Polozenko N. Thermophysical properties of polymer micro- and nanocomposites when they are obtained by different methods / *Theoretical foundations in research in Engineering: collective monograph* / Andrushchak I. etc. International Science Group. Boston : Primedia eLaunch. 2022. 181p. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3.5.1>

19. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii J., Meranova N., Prokopov V., Babak V., Korzhyk V., Izvorska D., Lazarenko M., Makhrovskiy V. Influence on the thermophysical properties of nanocomposites of the duration of mixing of components in the polymer melt // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. P. 25–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255830>

20. Hnatiuk K. I., Lazarenko M. M., Alekseev S. A., Razghonova K. S., Yablochkova K. S., Dinzhos R. V., Fialko N. M., Lazarenko M. V., Alekseev A. N. Investigation of relaxation processes and phase transitions in the silica gel-undecylenic acid system using IR spectra in a wide temperature range // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2022. P. 1–10. <https://doi.org/10.1080/15421406.2022.2066800>

21. Sobchuk A. O., Lazarenko M. M., Yablochkova K. S., Dinzhos R. V., Fialko N. M., Lazarenko M. V., Andrusenko D. A., Gryn S. V., Brytan A. V., Alekseev A. M. Effects of molecular structure on the dielectric relaxation of substituted cellulose derivatives // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2022. № 5/4. P. 1–12. <https://doi.org/10.1080/15421406.2022.2073535>

22. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Babak V., Korzhyk V., Lazarenko M., Polozenko N., Parkhomenko O., Makhrovskiy V. Establishing the influence of the type of micro- and nanofillers on the thermophysical properties of highly heat conductive polymer composites based on polyamide 6 // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022. 4 (5 (118)). P. 15–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263417>

23. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Дінжос Р. В., Шевчук С. І., Меранова Н. О., Гнедаш Г. О. Ефективність використання полімерних мікро- і нанокompatційних матеріалів в теплоутилізаційних технологіях / Інститут технічної теплофізики НАН України. Миколаїв : СПД Румянцева Г. В., 2020. 128 с.

24. Фіалко Н. М., Динжос Р. В., Прокопов В. Г., Меранова Н. О., Шеренковський Ю. В., Клиш А. В., Попружук И. О. Особенности процесса кристаллизации полимерных микрокомпозитов с использованием различных методов их получения / *Intellektuelles Kapital – Die Grundlage Für Innovative Entwicklung*

Intellectual Capital Is The Foundation of Innovative Development. Monographic series «European Science». Book 6. Part 3. ScientificWorld-NetAkhatAV. Karlsruhe, 2021. P. 40–48. <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2021-06-03>.

25. Фіалко Н. М., Дінжос Р. В., Шеренковський Ю. В., Прокопов В. Г., Меранова Н. О. Теплофізичні властивості полімерних мікро- і нанокомпозитів та їх зв'язок зі структурними характеристиками полімерної матриці // Теплофізика та теплоенергетика. 2022. № 3. С. 33–42. <https://doi.org/10.31472/tpe.3.2022.4>

26. Фіалко Н. М., Дінжос Р. В., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Прокопов В. Г., Навродська Р. О., Полозенко Н. П., Кутняк О. М., Попружук І. О., Пархоменко О. Ю. Залежність коефіцієнта теплопровідності нанокомпозитів на основі поліпропілену від часу змішування компонентів // Інтернаука. 2022. № 5(124). С. 56–60. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-5-7999>

27. Фіалко Н. М., Дінжос Р. В., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Прокопов В. Г., Навродська Р. О., Полозенко Н. П., Кутняк О. М., Малецька О. Є., Пархоменко О. Ю. Вплив тривалості змішування компонентів нанокомпозиту на величину його теплоємності // Інтернаука. 2022. № 5. С. 51–55. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-5-8009>

28. Фіалко Н. М., Дінжос Р. В., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Прокопов В. Г., Навродська Р. О., Полозенко Н. П., Кутняк О. М., Альошко С. О., Пархоменко О. Ю. Дослідження залежності густини нанокомпозитів від тривалості змішування компонентів у розплаві полімеру // Інтернаука. 2022. № 6(125). С. 56–59. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-6-8045>

29. Фіалко Н. М., Дінжос Р. В., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Прокопов В. Г., Навродська Р. О., Полозенко Н. П., Альошко С. О., Кутняк О. М., Пархоменко О. Ю. Залежність теплопровідності полімерних мікро- і нанокомпозитівних матеріалів на основі полікарбонату від масової частки наповнювача // Інтернаука. 2022. № 6(125). С. 60–64. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-6-8053>

30. Фіалко Н. М., Дінжос Р. В., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Прокопов В. Г., Навродська Р. О., Полозенко Н. П., Альошко С. О., Кутняк О. М., Пархоменко О. Ю. Температурні залежності теплоємності та густини нанокомпозитів на основі полікарбонату // Інтернаука. 2022. № 7. С. 65–69. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-7-8079>



**А. В. Ляшенко, Г. В. Беляєв, І. П. Беляєва**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ТРІСКИ ПАЛИВНОЇ З ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ У ФІКСОВАНОМУ ШАРІ**

**Вступ.** У непромислових лісах проводяться тільки санітарні рубки, вибірково, тільки для поліпшення стану та породного складу дерев. В Україні непромисловий лісовий фонд становить до 57% усього лісового фонду [2–6]. Залежно від використання такі лісові території поділяються на полезахисні, водозахисні, заповідні, протизсувні, рекреаційні та зелені зони в містах і навколо них.

Відходи деревини утворюються на всіх етапах: зростання, заготівлі та переробки. На етапах санітарної очистки та заготівлі відходи утворюються у вигляді гілок, кори, підкущів, гілок, бадилля, коріння, тріски і в сумі становлять близько 21% від усієї маси деревини. При переробці деревини на пиломатеріали відходи утворюються у вигляді обрізків, стружки, шматків, обрізків, стружки і складають 35–40% маси матеріалів, що переробляються.

Нині при відомих способах переробки відходів деревини в Україні переробляється близько 50% усієї деревної сировини різного походження [1–3]. З актуальності теми вбачається, що кількісні показники санітарного очищення деревини мають значні обсяги, які можна і потрібно використовувати в народному господарстві. В основному застосовують традиційні способи сушіння з використанням, наприклад, барабанних сушарок [6], одним із недоліків яких є високі питомі витрати тепла на випаровування (до 5000 кДж/кг випареної вологи). Переробка великої кількості відходів біомаси (після санітарної очистки) потребує розробки вітчизняних ресурсо- та енергоефективних технологій та обладнання для переробки та сушіння відходів деревини, наприклад, на тріску. Мета дослідження – експериментально визначити час, необхідний для зневоднення паливної тріски під час сушіння в нерухомому шарі, залежно від температури та швидкості теплоносія та можливої продуктивності розроблених новітніх енергозберігаючих модульних сушильних установок.

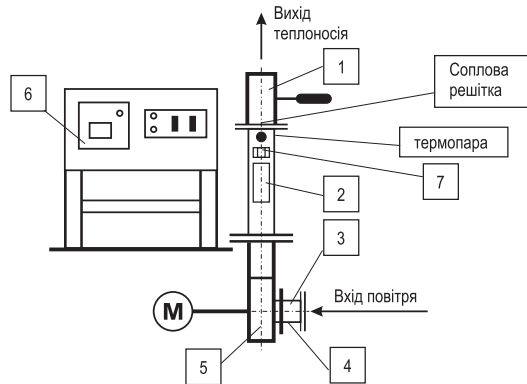
**Матеріали та методи.** Для проведення серії експериментальних досліджень процесу сушіння паливної тріски у стаціонарному шарі спочатку було підготовлено дослідницький матеріал. В якості нього використовувалися дерева різних порід, розташовані на території ІТТФ НАН України.

Як сировину використовували подрібнені паростки довжиною 1,5–2,5 м і товщиною 0,5–2,5 см. Паливну тріску збирали безпосередньо перед початком дослідів за допомогою подрібнювача деревини. Орієнтовний вміст 80–90% – деревина, 20–10% – зелене листя.

Для експериментального дослідження процесу конвекційного сушіння паливної тріски на першому етапі використовувався наявний експериментальний стенд та розроблена методика проведення експерименту (рисунок).

**Рисунок.** Схема експериментального стенду дослідження кінетики процесу сушіння:

1 – спеціальна камера соплової сушки; 2 – підігрівачі повітря; 3 – вхідний патрубок; 4 – заслінка; 5 – відцентровий вентилятор; 6 – щит управління; 7 – розподільний пристрій.



Проведено серію експериментальних досліджень з конвекційного сушіння паливної стружки на лабораторному стенді «Сушильний стенд з киплячим шаром» з наступними теплотехнічними параметрами: температура на вході в робочу камеру змінювалася від 130 °С до 180 °С; швидкість теплоносія на вході в робочу камеру 0,3–1,2 м/с; товщина шару матеріалу 100 мм; діаметр робочої камери – 135 мм; об’єм партії досліджуваного матеріалу 0,0014 м<sup>3</sup>; діапазон початкової вологості досліджуваного матеріалу (паливної тріски) від 46% до 55%; тріска паливна містила 10–20% подрібненого листя за об’ємом.

Методика проведення експериментальних досліджень така: визначаємо початкову вологість матеріалу; зважуємо спеціальну насадку сушильної камери без матеріалу (1,84 кг); засипати дослідний матеріал (підготовлену паливну тріску) масою 0,3 кг у спеціальну насадкову су-

шильну камеру; розміщуємо на лабораторному стенді спеціальну насадкову сушильну камеру для процесу сушіння паливної стружки при заданих параметрах температури і швидкості теплоносія; через певні проміжки часу повертаємо спеціальну форсункову сушильну камеру з паливною стружкою на 180 градусів. Вимірюємо зміну маси матеріалу в процесі сушіння на вагах і продовжуємо процес сушіння до тих пір, поки зміна маси досліджуваного матеріалу не зміниться через певні проміжки часу.

**Результати і обговорення.** При дослідженні кінетики процесу сушіння досліджуваного матеріалу визначали зміну вологості матеріалу під час сушіння в залежності від температури теплоносія та його швидкості при однаковій вологості паливної стружки. У таблиці наведено очікувану розрахункову кількість зон сушарки в залежності від її продуктивності при різних температурних показниках теплоносія.

Таблиця

*Зміна вологості паливної тріски в сушильних блоках*

№ п/п	G, кг/год	v, м/с	W, %	τ, хв	t, °C	Кількість зон сушки					
						1	2	3	4	5	6
1	500	1,1	47	13	130	15	6				
					150	13	4				
					180	10					
2	1000	1,1	47	7	130	28	17	8			
					150	27	13	6			
					180	23	8				
3	1500	1,1	47	5	130	35	26	17	12	7	
					150	34	23	15	10	5	
					180	29	17	8			
4	2000	1,1	47	3	130	39	31	23	18	14	9
					150	37	28	20	14	9	6
					180	35	24	16	10	6	

Дослідження проводили за таких параметрів: температура на вході в камеру – 130–180 °C; швидкість руху теплоносія 1,1 м/с. Паливна тріска містить 10–20% листя за об'ємом. Вага робочої ємності дорівнює 1,84 кг. Маса досліджуваного матеріалу дорівнює 0,3 кг.

З аналізу таблиці видно, що при збільшенні проектної продуктивності сушарки ( $G$ ) в 4 рази максимальна проектна довжина сушарки збільшиться в 3 рази. Конструктивно-габаритні характеристики сушарки: ширина – 2 м, довжина кожної зони – 3 м.

**Висновки.** Отримані експериментальні дані будуть використані при створенні експериментальних стендів, чисельному дослідженні процесу в робочій камері сушильних установок, а також при створенні інженерних розрахунків установок для енергоефективної утилізації термолабільних органічних відходів.

### Список використаної літератури

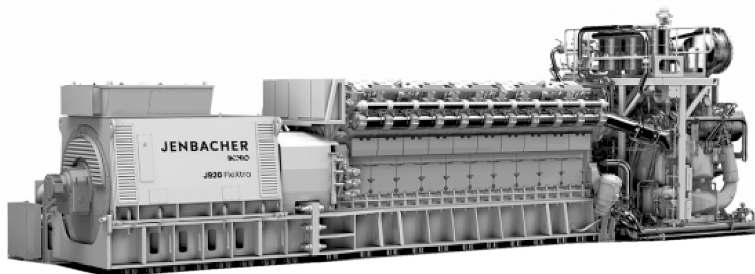
1. Лісове господарство [Електронний ресурс] / Державний комітет статистики України. – URL : <http://www.ukrstat.gov.ua>. (дата звернення: 17.04.2023).
2. Івануса А. В. Особливості утворення, переробки та утилізації деревинних відходів // Деревообробник. 2006. № 11. С. 4–5.
3. Шершун М. Х. Аналіз діяльності лісогосподарських підприємств та ефективність використання лісоресурсного потенціалу в умовах розвитку економічної кризи // Збірник наукових праць ВНАУ. 2012. № 4 (70, Т. 1). С. 194–199.
4. Апостолюк С. О. Промислова екологія: навчальний посібник. Київ : Знання, 2012. 430 с.
5. Олійничук О. І. Особливості лісогосподарського виробництва та підвищення його ефективності // Актуальні проблеми розвитку економіки регіону: науковий збірник. 2009. Вип. V. Т. 2. С. 148–154.
6. Каталог сушарок [Електронний ресурс] / Сайт електронного ресурсу. – URL : <https://www.agrovector.com/ua/category/417-sushilki-promyshlennyye.html>. (дата звернення: 14.04.2023).

## КОМПАНІЯ З РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Команда молодих та досвідчених професіоналів у сфері енергетики, яка займається розробкою інноваційних рішень пов'язаних із розподіленою генерацією та комплексною реалізацією проєктів будь-якої складності: від малих електростанцій та котельень до масштабних енергетичних об'єктів.

Компанія постачає високоякісне обладнання українських та закордонних виробників (парові котли, парові турбіни, газові турбіни, газо-поршневі установки, водогрійні котли, блочно-модульні пересувні котельні), а також надає послуги з розробки, проєктування та будівництва об'єктів енергетики «під ключ».

Пріоритетом є впровадження сучасних технологій, які дозволяють інтегрувати відновлювані джерела енергії, мінімізувати витрати та підвищити енергоефективність. Кожний проєкт реалізується із дотриманням найвищих стандартів якості та безпеки.



Співпраця з надійними виробниками гарантує якість продукції, а індивідуальні інженерні рішення адаптовані до особливих потреб клієнтів.

Повний цикл реалізації «під ключ» включає аналіз ідей, техніко-економічне обґрунтування, розробку проєктно-кошторисної документації та введення об'єкта в експлуатацію, а також гарантійне та післягарантійне обслуговування для забезпечення стабільної роботи.

КОМПАНІЯ З РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ пропонує рішення, які забезпечують додаткові потреби енергетики, промисловості та житлово-комунального господарства України в електричній та тепловій енергії.

### **ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «КОМПАНІЯ З РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ»:**

Україна, 03150, м. Київ,  
вул. Велика Васильківська, 65  
Тел.: +380 67 319 11 12  
e-mail: office@dgc.com.ua  
www.dgc.com.ua

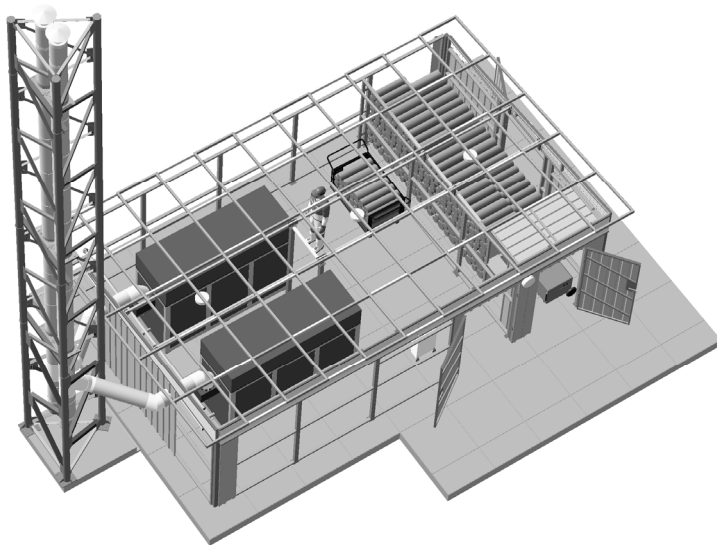


к о р п о р а ц і я  
**УКРАТОМПРИЛАД**



ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ РАДІАЦІЙНОГО, ДОЗИМЕТРИЧНОГО, ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ, ЕКОЛОГІЧНОГО ТА РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ, БЕЗПЕЧНОГО ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ УСІХ ГАЛУЗЕЙ ЕКОНОМІКИ. ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ, ПОСТАЧАННЯ, МОНТАЖ, ПУСК, ПАСПОРТИЗАЦІЯ, ГАРАНТІЯ, СЕРВІСНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ.

## МОДУЛЬ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛА «МАГТ 198»



### Сертифікати



Масштабна російська військова агресія призвела до руйнування об'єктів критичної інфраструктури України та проблем в енергозабезпеченні житла та об'єктів соціальної інфраструктури. Наслідком цих агресивних дій є також проблеми в роботі системи вироблення та постачання теплової енергії.

Різне подорожчання електроенергії та в найближчому майбутньому і газу, а також можливе руйнування газопроводів у військовий час, створюють нові значні виклики в тепlopостачанні лікарень, садочків, навчальних закладів, інших об'єктів соціальної інфраструктури. Не застраховані від цих проблем і інші державні установи, малі підприємства, ФОПи тощо.

Є рішення альтернативного теплозабезпечення!

Таким рішенням є впровадження **Модуля альтернативної генерації тепла (МАГТ)**.

Модуль альтернативної генерації тепла на твердому паливі (далі МАГТ) тепловою потужністю 99 кВт або 198 кВт призначений для здійснення подачі тепла на альтернативному твердому паливі в існуючі тепломережі адміністративних і приватних будівель, а також аварійної подачі тепла в разі, якщо з якихось причин відсутні газ та/або електроенергія в стаціонарній котельні, що здійснює подачу тепла в ці будівлі. При цьому МАГТ встановлюється зовні опалювальних будівель.

Ще однією особливістю МАГТ є те, що у разі потреби його можна розібрати і перенести в інше місце. Тобто використовувати як тимчасову котельню на час ремонту або відновлення основної котельні, чи на час будівництва нової.

### **Доцільність використання МАГТ:**

- **Дві котельні:** за умов встановлення та підключення МАГТ до основної газової котельні, ви маєте фактично дві котельні – газову (стаціонарну) та альтернативну (модульну) на дровах!
- **Економія бюджетних коштів:** при розрахунку калькуляції собівартості 1 Гкал виробництва теплової енергії вартість палива (дров) буде нижче, ніж вартість природного газу в 1,95 разів і в перерахунку на річне споживання теплової енергії дозволить отримати економію бюджетних коштів в **307 700 грн.!**

– **Енергонезалежність та стабільність теплопостачання:** використання в комплекті МАГТ автономного генератора електроенергії на 2 видах палива – бензин/дизель та зріджений газ, забезпечують енергонезалежність та стабільність теплопостачання!

– **Надходження податків у місцевий бюджет:** заготівля місцевої деревини створює нові робочі місця, використовуються трудові ресурси громади, що збільшує надходження податків в місцевий бюджет!

**Використання непотрібної деревини:** в МАГТ можна спалювати відходи деревини, які виникають при розчищенні дерев, а також виробничі або побутові відходи (обрізки дощок, старі рами, меблі тощо).



## СТИСЛИЙ ОПИС І ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГТ

МАГТ представляє собою каркасну конструкцію, зовні обшиту профільним металом. Всередині модуль розділений на три відсіки: в першому відсіку встановлюються технологічні системи і відповідне обладнання; другий відсік призначений для розміщення оперативного запасу твердого палива (дров) для використання при експлуатації МАГТ (склад палива); у третьому відсіку розміщується електрогенератор. Покрівля модуля – односкатна, вкрита профільним металом і виконана таким чином, щоб витримувати навантаження шару снігу і льоду в зимовий період. Зовні від МАГТ встановлюються димоходи і димові труби у підтримуючому каркасі (одна або дві в залежності від кількості модульних теплогенераторів).

В основі МАГТ на твердому паливі тепловою потужністю 99 кВт (МАГТ99) та 198 кВт (МАГТ198) знаходиться один або, відповідно, два модульних теплогенератора ТМ-100-Т-00-ГТ/А ТУУ 28.2-25209824-001:2005. Теплогенератори модульні встановлюються всередині першого відсіку на спеціально відведені для цього місця та підключаються до відповідних систем електроживлення, подачі теплової енергії тощо.

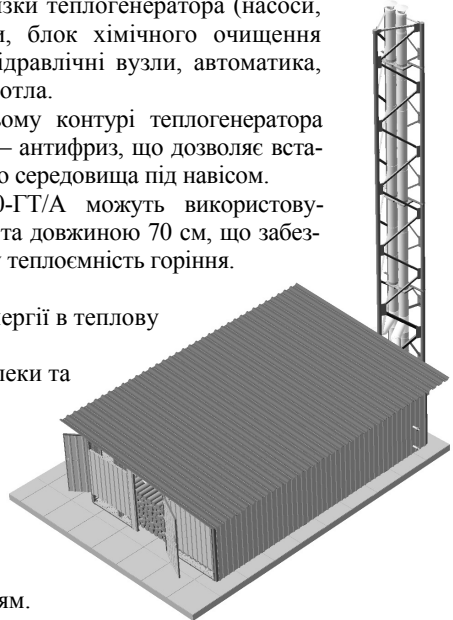
Теплогенератори модульні ТМ-100-Т-00-ГТ/А характеризуються максимально компактними розмірами (як для своєї потужності) – Ш×Д×В – 990×3200×1750 мм, з урахуванням наявності повної обов'язки теплогенератора (насоси, теплообмінники, розширювальні баки, блок хімічного очищення води (ХВО), бак запасу теплоносія, гідравлічні вузли, автоматика, система безпеки та аварійної зупинки котла.

В якості теплоносія у внутрішньому контурі теплогенератора використовується незамерзаюча рідина – антифриз, що дозволяє встановлювати його в умовах навколишнього середовища під навісом.

В теплогенераторах ТМ-100-Т-00-ГТ/А можуть використовуватися поліна дров, діаметром до 30 см та довжиною 70 см, що забезпечує тривалий режим горіння та високу теплоємність горіння.

### МАГТ оснащений:

- системою подачі і обліку теплової енергії в теплову мережу споживача;
- системою управління, аварійної безпеки та моніторингу;
- системою енергозабезпечення та обліку електроенергії;
- системою видалення та очистки димових газів;
- системою аварійного живлення;
- системою пожежогасіння;
- робочими інструментами та приладдям.



### **КОРПОРАЦІЯ «УКРАЇНСЬКІ АТОМНІ ПРИБАДИ ТА СИСТЕМИ»:**

Україна, 03150, м. Київ, вул. Антоновича, 152, оф. 101  
Тел./факс: (+38 044) 501-61-78, 528-33-56, 529-22-96  
e-mail: info@uap.kiev.ua, web: www.uap.kiev.ua

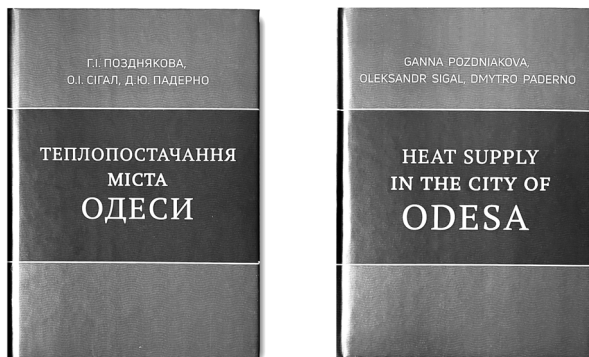


## МОНОГРАФІЯ «ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА ОДЕСИ»

У видавництві «Наукова Думка» НАН України в 2024 році вишла друком монографія «Теплопостачання міста Одеси», українською та англійською мовами. Автори: Г. І. Позднякова, О. І. Сігал, Д. Ю. Падерно.

ISBN 978-966-00-1919-5

*Монографія рекомендована до друку Вченою радою  
Інституту технічної теплофізики НАН України.*



Монографія присвячена розробленню наукових засад та аналізу заходів з підвищення енергетичної ефективності, зниження витрат палива, підвищення частки використання теплової енергії з відновлюваних джерел, підвищення якості, екологічності та надійності функціонування систем теплопостачання споживачів, в тому числі в умовах підвищених ризиків унаслідок агресії проти нашої країни, зокрема відображених у схемі теплопостачання міста Одеси.

Для фахівців у галузі теплофізики, комунальної та промислової теплоенергетики, аспірантів і студентів відповідних спеціальностей, а також для потенційних інвесторів проєктів з теплопостачання.

Буде корисною для широкого кола фахівців у галузі централізованого теплопостачання міст України.



**ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ**

***INSTITUTE OF ENGINEERING ECOLOGY***

- **Поліпшення екологічної ситуації та зменшення використання палива**  
*Improving of environmental situation and reduction of fuel consumption*
- **Утилізатори теплоти: конденсаційні, контактні, контактньо-поверхневі**  
*Heat recovery equipment: condensing, contact, surface-contact*
- **Повітряпідігрівачі**  
*Air heaters*
- **Пальникові пристрої двостадійного спалювання**  
*Gas burners for two-stage combustion*
- **Двопаливні пальникові пристрої для спалювання біогазу та природного газу**  
*Two-fuel burners for biogas and natural gas combustion*
- **Модернізовані подові випромінюючі пальникові пристрої**  
*Modern hearth radiative gas burners*
- **Інтенсифікація топкового теплообміну**  
*Intensification of fire-chamber heat exchange*
- **Відцентрові фільтри та циклофільтри**  
*Centrifugal filters and cyclone-bag filters*
- **Пило- та газоочищення**  
*Dust and gas cleaning*
- **Зниження утворення та викидів  $NO_x$**   
*Reduction of  $NO_x$  formation and emission*
- **Підвищення продуктивності та ККД водогрійних котлів типу ПТВМ**  
*Capacity and efficiency increasing of PTVM hot water boilers*
- **Сміттєспалювальні модулі потужністю 2 т ТПВ/год**  
*Waste incineration units of 2 t per hour capacity*
- **Допалення газових органічних викидів**  
*Burning up of organic gas pollutions*
- **Проекти зі скорочення викидів парникових газів**  
*Projects for reduction of greenhouse gas emissions*
- **Розроблення планів та звітів з моніторингу викидів парникових газів**  
*Development of monitoring plans and reports on greenhouse gas emissions*

Україна, 03057, Київ,  
вул. Марії Капніст, 2а  
Тел./факс: (044) 456-92-62  
e-mail: office@engecology.com

2а Kapnist Marii str., Kyiv,  
03057 Ukraine  
Tel./fax: (+38 044) 456-92-62  
www.engecology.com

# ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ

Інститут промислової екології, заснований в 1992 р., є незалежною професійною науково-дослідницькою та інженерною організацією.

Основні напрямки діяльності Інституту:

- розроблення, виробництво та впровадження екологічно чистіших технологій та обладнання для збереження енергії та палива й захисту навколишнього природного середовища;
- розроблення схем тепlopостачання міст України;
- розроблення та впровадження покращених технологій та обладнання для спалювання палив;
- розроблення планів та звітів з моніторингу викидів парникових газів підприємством;
- проведення екологічних досліджень та експертиз, а також енергетичного та екологічного обстеження (аудиту) промислових підприємств з наданням рекомендацій щодо поліпшення.

Інститут промислової екології пропонує до впровадження розробки, спрямовані на економію паливно-енергетичних ресурсів та покращення екологічної ситуації:

1. Комбінована технологія для зниження утворення оксидів азоту, газоочищення та утилізації теплоти димових газів паливоспалювального обладнання.
2. Модернізовані подові випромінюючі пальники з підвищеним ККД та зниженим утворенням оксидів азоту для котлів продуктивністю до 10 Гкал/год.
3. Пальникові пристрої двостадійного спалювання зі зниженим утворенням оксидів азоту для котлів типів ПТВМ, КВГМ та ін.
4. Технологія рециркуляції продуктів згоряння в повітря і паливо для зниження утворення оксидів азоту.
5. Технологія підвищення ККД котлів з одночасним зниженням утворення оксидів азоту шляхом інтенсифікації теплообміну з використанням вторинних випромінювачів.
6. Технологія підігріву дуттьового повітря для пальників котлів та печей з використанням вторинних енергоресурсів.
7. Технологія підігріву топкових мазутів з використанням теплоти продуктів згоряння.
8. Відцентрові фільтри та циклофільтри для очищення від пилу в промисловості та енергетиці.
9. Системи золовловлювання для промислових та опалювальних котлів на твердому паливі.
10. Системи пилоочищення для технологічних процесів з вловлюванням та поверненням матеріалу в цикл.
11. Технологія нейтралізації викидів пари органічних речовин, у тому числі з використанням енергопотенціалу речовин, що нейтралізуються.
12. Сміттеспалювальні модулі продуктивністю 2 т ТПВ на годину.
13. Пальники для спалювання біогазу, у тому числі двопаливні комбіновані.
14. Підігрів припливного вентиляційного повітря за рахунок теплоти зворотної теплоережевої води.

Щорічно Інститут проводить міжнародну конференцію «Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики».

Інститутом на базі енерго-екологічного обстеження промислових підприємств розробляється, і для кожного конкретного випадку залежно від можливостей та доцільності вкладень спільно з підприємством-замовником індивідуально підбирається комплекс заходів, технологій та обладнання, що сприяють зниженню питомих енерговитрат та захисту довкілля. Можлива комплектація, поставання «під ключ» та налагодження встановленого обладнання.

Використання пропонуваніх Інститутом промислової екології енергозберігаючих технологій та обладнання дає конкретний екологічний, енергетичний та економічний ефект.

***ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ:***

Україна, 03057, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а  
Тел./факс: (+38 044) 456-92-62  
e-mail: [office@engecology.com](mailto:office@engecology.com)  
[www.engecology.com](http://www.engecology.com)

## **КОТЕЛ ВОДОГРІЙНИЙ ВОДОТРУБНИЙ, ПРАЦЮЮЧИЙ НА ПРИРОДНОМУ ГАЗІ НИЗЬКОГО ТИСКУ, ТЕПЛОПРОДУКТИВНІСТЮ 2,0 МВт (КВВ-2,0 Гн)**

Котел типу КВВ-2,0 Гн призначений для застосування в системах опалення та гарячого водопостачання.

Котел має П-подібне компонування і складається з топкової камери, екрани якої набрані з труб діаметром 51×3,5 мм, зварених між собою плавцями, та конвективної частини, виконаної з U-подібних труб діаметром 28×3 мм, які, у свою чергу, вварені в стояки, а ті – у колектора. Виготовляється у вигляді зварного газоцилінгового моноблоку в легкій ізоляції та декоративному кожусі, комплектується блоковим газовим пальником низького тиску із системою автоматики.

### **Основні технічні характеристики**

Номінальна теплопродуктивність, МВт	2,0
Діапазон регулювання, %	40–100
Коефіцієнт корисної дії, %, не менше	92
(фактично на номінальному навантаженні – 93%, на 50% – 95%)	
Питома витрата палива, м <sup>3</sup> /МВт, не більше	110
Питома споживання електроенергії, кВт/МВт	2,0
Вміст оксидів азоту (у перерахунку на NO <sub>2</sub> ) у сухих продуктах згоряння (приведене до $\alpha = 1$ ), мг/м <sup>3</sup>	96–130
Робочий тиск води у котлі, МПа	0,6
Температура води на виході з котла, °С	95
Витрата води, м <sup>3</sup> /год	70
Температура відхідних газів, °С	90–180
Габаритні розміри, мм, не більше:	
довжина з пальником	4000
ширина	1500
висота	3000
Маса котла, кг	3700
Питома металомісткість, т/МВт	1,8

Впровадження котла дозволить замінити застарілі котли типу «Мінськ-1», «НІСТУ-5», «Універсал», «Енергія» та ін., збільшити у 3–5 разів теплову потужність котелень без зміни їх будівельних обсягів, різко підвищити економічність та надійність джерел теплопостачання.

Котел розроблений Інститутом промислової екології спільно з ІТТФ НАНУ.

Україна, 03057, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а  
Тел./факс: (+38 044) 456-92-62  
e-mail: office@engecology.com  
www.engecology.com

## **КОТЕЛ ВОДОГРІЙНИЙ ВОДОТРУБНО-ДИМОГАРНИЙ ТЕПЛОПРОДУКТИВНІСТЮ 0,63 МВт (КВВД-0,63 Гн)**

Комбінований водотрубно-димогарний котел КВВД-0,63Гн теплопродуктивністю 630 кВт з примусовою циркуляцією теплоносія через котел розрахований для роботи на природному газі або легкому рідкому паливі і призначений для вироблення теплової енергії у вигляді води з температурою до 95 °С і тиском до 0,6 МПа для опалення, технологічних потреб та гарячого водопостачання.

Котел складається з наступних деталей та вузлів:

- Корпус котла овальної форми.
- Приварені до корпусу передня та задня трубні дошки.
- Димогарні труби, вварені у верхні частини передньої та задньої трубних дошок.
- Топкова камера, що включає жарову трубу і екранну систему з кільцевими трубними дошками. У топковій камері між задньою і передньою водяними кільцевими камерами вварені 36 екранних труб, розподілених на 12 триходових пучків. Вода подається в задню камеру, проходить у передню камеру, назад у задню і знову в передню (тобто 3 ходи), де через 12 отворів надходить у водяний об'єм корпусу котла.
- Дверцята котла, в яких знаходиться поворотна камера димових газів з вогнетривкою футеровкою.
- Теплоізоляція та декоративний кожух.
- Пальник, що кріпиться до фланця дверцят котла.

Полум'я пальника надходить у кільцеву екранну камеру, яка закрита в донній частині. Камера працює з надлишковим тиском димових газів, які надходять у 2 вогневі труби, потім у поворотну камеру та по димогарних трубах в димову коробку, розташовану в задній частині котла. З димової коробки газу надходять у димар і в атмосферу.

Газовий тракт котла знаходиться під час роботи пальника під надлишковим тиском по відношенню до атмосфери. У димогарні труби котла вставляються пластинчасті турбулізатори (завихрювачі), які надають потоку газів у трубах турбулентності та підвищують коефіцієнт теплопередачі.

Котел комплектується блочним газовим вентиляторним пальником RS-70 та електронною автоматикою RB/т виробництва фірми Riello S.p.A (Італія), сертифікованими в Україні. Автоматика виконує повний цикл розпалювання, пуск на першому ступені, перехід на другий ступінь, зупинку котла при досягненні встановленої температури води на виході котла з подальшим продуванням димоходу і захисне відключення подачі газу при аварійних ситуаціях.

Пульт управління котлом забезпечує можливість підключення електронного пристрою для ведення режиму котла з урахуванням температури зовнішнього повітря та дозволяє експлуатувати котел в автоматичному режимі без чергового персоналу.

### Основні технічні характеристики

Номінальна теплопродуктивність, МВт	0,63
Діапазон регулювання, %	40–100
Коефіцієнт корисної дії, %, не менше	92
Номінальна витрата палива (природного газу при $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 35600$ кДж/м <sup>3</sup> ), м <sup>3</sup> /ч	70 ± 5%
Питома витрата палива, м <sup>3</sup> /МВт, не більше	115,5
Питома споживання електроенергії, кВт/МВт, не більше	2,22
Вміст оксидів азоту (у перерахунку на NO <sub>2</sub> ) у сухих продукти згоряння (наведене до $\alpha = 1$ ), мг/м <sup>3</sup> , не більше	200
Робочий тиск води в котлі, МПа	0,6
Температура води на виході з котла, °С	95
Розрахунковий перепад температур води, °С	25
Розрахункова витрата води, м <sup>3</sup> /год	22
Розрахункова температура відхідних газів, °С	160
Габаритні розміри, мм, не більше:	
довжина з пальником	3260
довжина без пальника	2400
ширина	900
висота	1600
Маса котла, кг, не більше	1700

Впровадження котла дозволить замінити застарілі котли типу «Мінськ-1», «НІСТУ-5», «Універсал», «Енергія» та ін., різко підвищити економічність та надійність джерел теплопостачання.

Котел розроблений Інститутом промислової екології спільно з ІТТФ НАНУ.

Україна, 03057, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а  
Тел./факс: (+38 044) 456-92-62  
e-mail: [office@engecology.com](mailto:office@engecology.com)  
[www.engecology.com](http://www.engecology.com)

## УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ І ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ КОТЛАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТАКТНОЇ КОМБІНОВАНОЇ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

Комбінована контактна теплоутилізаційна установка призначена для зниження викидів оксидів азоту, зниження температури та утилізації теплоти газів агрегатів, що спалюють газоподібне паливо.

Основу системи складає комбінований теплообмінник, який включає контактний економайзер і контактний повітропідігрівач, об'єднані в загальний водяний циркуляційний контур з циркуляційним насосом та проміжним теплообмінником.

Технологія передбачає зниження утворення оксидів азоту за рахунок подачі в камеру топки зволоженого і підігрітого в контактному повітропідігрівачі дуттьового повітря. Подальше очищення відбувається за рахунок промивання продуктів згоряння в контактному водяному економайзері (абсорбері) та виведення з циклу 2 в декарбонізаційній колоні. У процесі утилізується як явна теплота продуктів згоряння, так і прихована теплота конденсації у них водяної пари.

Працює система в такий спосіб. Продукти згоряння подаються в контактну камеру економайзера, де при безпосередньому контакті з нагрівається водою охолоджуються і через краплевловлювач димососом видаляються в димову трубу.

Частина продуктів згоряння проходить по байпасному газоходу повз економайзер для підтримки «сухого» режиму димової труби.

Нагріта в економайзері вода збирається у піддоні та насосом подається частково на водорозподільник контактного повітропідігрівача, звідки надходить на насадку контактної камери, де при безпосередньому контакті з холодним повітрям охолоджується і стікає в піддон. Решта нагрітої води насосом подається через проміжний теплообмінник на систему захисту від обмерзання, а звідти зливається у піддон. У теплообміннику відбувається нагрівання води, що подається на зовнішні споживачі (хімводоочищення, систему гарячого водопостачання тощо).

Охолоджена вода з піддону повітропідігрівача через патрубки з гідрозатворотами, з'єднаними з водорозподільником, подається для нагрівання на контактну насадку камери економайзера.

Нагріте і зволожене в контактному повітропідігрівачі повітря подається через краплевловлювач на всмоктування дуттьового вентилятора. Для підсушування насиченого вологою нагрітого повітря може підмішуватися повітря з верхньої зони котельні. Зволоження дуттьового повітря дозволяє в 2–2,5 рази зменшити викиди оксидів азоту.

Конструктивне виконання контактних апаратів (економайзера та повітропідігрівача) один над іншим, що застосовується як один з можливих варіантів, зменшує площу, необхідну їх установці. Монтаж апаратів проводиться блоками квадратного перерізу, що дозволяє за умовами компоновання змінювати розташування газових та повітряних патрубків з кроком 90°.

Теплова схема установки та конструктивне виконання теплообмінника розробляються для кожного об'єкта.



Впровадження цієї технології дозволяє знизити викиди оксидів азоту в атмосферу не менше ніж на 50–60%, зменшити на 8–10% витрату палива (природного газу) і отримати конденсат, придатний для підживлення тепломережі.

Як приклад наведено технічні характеристики контактної комбінованої теплоутилізаційної установки, змонтованої за котлоагрегатом ДКВР-10/13:

паропродуктивність котлоагрегату, т/год	9,8
частка газів, що проходять через економайзер, %	50
коефіцієнт розведення продуктів згоряння перед установкою	1,64
температура газів, що відходять, °С:	
– перед економайзером	110
– після економайзера	38
температура повітря, що нагрівається, °С:	
– перед повітропідігрівачем	–10
– після повітропідігрівача	+33
температура нагрітої циркуляційної води, °С	46
опір економайзера, Па	230
опір повітропідігрівача, Па	320
зниження викидів оксидів азоту, кг/добу	15,4
економія природного газу, %	5,33

Весь комплекс робіт «під ключ» з проектування, виготовлення, монтажу та налагодження систем теплоутилізації з контактним комбінованим теплообмінником виконує Інститут промислової екології.

### ***ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ:***

Україна, 03057, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а

Тел./факс: (+38 044) 456-92-62

e-mail: [office@engecology.com](mailto:office@engecology.com)

[www.engecology.com](http://www.engecology.com)

## МОДЕРНІЗОВАНІ ПОДОВІ ПАЛЬНИКИ ТИПУ МППГ ДЛЯ КОТЛІВ ПРОДУКТИВНІСТЮ ДО ДО 10 Гкал/год

Модернізовані подові (щілинні) пальники нового покоління зі збільшеною променистою складовою типу МППГ призначені для котлів продуктивністю до 10 Гкал/год (типу НІСТУ-5, ТВГ-1; 2,5; 4; 8; КВ-ГМ-4,65-150), КВГ-7,56-150 та ін.) і можуть застосовуватись замість форкамерних, подових та інших пальників.

Пальникові пристрої МППГ працюють на вентиляторному дутті. У котлах НІСТУ-5 дозволяється їх експлуатація і без дуттьового вентилятора.

Встановлення пальників МППГ здійснюється з використанням рами стандартних габаритів та посадкових розмірів, що не потребує спеціальної переробки котла. На рамі монтуються елементи пальника – колектори пальників, цеглини щілинного змішувача, підпальниковий лист і шибери, що регулюють подачу повітря.

Колектор пальника виготовляється з суцільнотягнутої труби та забезпечується змінними соплами-форсунками, які виготовляються з латуні, що дозволяє уникнути окислення стінок отвору та зберегти необхідну витрату при тривалій експлуатації пальників (протягом не менше 10 років).

Пальники МППГ практично безшумні, легко забезпечують стійку роботу на знижених навантаженнях (регульованість в межах 24–100%), а також форсування котла. Наявність змінних каліброваних сопел забезпечує можливість підтримки номінальної продуктивності котла та стійкої роботи при тиску газу в мережі в діапазоні від 20 до 150 мм вод. ст.

З метою додаткового підвищення ефективності використання палива і ККД котла, а також зниження викидів токсичних речовин в атмосферу, пальники МППГ можуть бути оснащені вторинними (проміжними) випромінювачами у вигляді підвісних гірлянд з легковагого теплостійкого кремнеземистого матеріалу або стрижнів з вогнетривкого матеріалу.

Встановлення вторинних випромінювачів у камері топки котла забезпечує інтенсифікацію променистого теплообміну, за рахунок чого збільшується тепловіддача в топці і відповідно підвищується ККД котлів і зменшується витрата палива. Крім того, введення в зону факела проміжних випромінювачів дозволяє знизити максимальні температури в ядрі зони горіння, за рахунок чого зменшуються утворення і викиди токсичних речовин, в першу чергу оксидів азоту. Внаслідок зниження як максимальних температур у зоні горіння, так і температур на виході з топки та за котлом, полегшуються умови роботи, підвищується надійність та збільшується термін експлуатації котла.

Використання модернізованих подових пальників з вторинними випромінювачами дозволяє:

- збільшити тепловіддачу у топці котла на 10–30%;
- підвищити ККД котла та відповідно зменшити витрату палива (природного газу) на 3–5%, в результаті досягти величин ККД не менше 90%;
- знизити утворення оксидів азоту на 30–50%; в результаті досягти середнього рівня концентрацій  $\text{NO}_x$  у продуктах згоряння на рівні  $100 \text{ мг/м}^3$ ;
- знизити температуру димових газів на 40–80 °С;

- підвищити надійність експлуатації та збільшити термін служби котлів (на 10–20%, або на 3–5 років) за рахунок зниження максимальних температур у зоні горіння на 40–70 °С;
- зменшити витрату вогнетривкої цегли на викладку пальників та поду котла на 50% (порівняно з форкамерними пальниками).

Описані вторинні (проміжні) випромінювачі також можуть бути застосовані і з встановленими в котлі пальниками інших типів.

### ***ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ:***

Україна, 03057, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а

Тел./факс: (+38 044) 456-92-62

e-mail: [office@engecology.com](mailto:office@engecology.com)

[www.engecology.com](http://www.engecology.com)

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТОПКОВОГО ТЕПЛОБМІНУ В КОТЛАХ ШЛЯХОМ ВСТАНОВЛЕННЯ ВТОРИННИХ (ПРОМІЖНИХ) ВИПРОМІНЮВАЧІВ

Технологія призначена для підвищення ефективності спалювання газоподібного палива у котлах та зниження токсичних викидів в атмосферу.

Недоліком багатьох водогрійних і парових котлів, що знаходяться в експлуатації, є малоєфективна тепловіддача в топці та обумовлені цим висока температура газів, що відходять (до 200–250 °С) і низький ККД (до 85–87%).

Одним із можливих та реальних шляхів підвищення ефективності використання палива в котлах, і відповідно підвищення їх ККД та зменшення газових викидів в атмосферу (включаючи CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> тощо), є інтенсифікація теплообміну та відповідно тепловіддачі в топковій камері.

При спалюванні природного газу у відносно невеликих топкових обсягах котлів з розвиненим екрануванням стін, з точки зору інтенсифікації теплообміну та надійної стабілізації факела доцільне встановлення вторинних (проміжних) випромінювачів – твердих нагрітих до високих температур тіл, що є як би «тепловими дзеркалами», що передають випромінювання до поверхонь нагріву.

Дія вторинних випромінювачів полягає в тому, що вони сприймають тепло селективним випромінюванням та конвекцією від продуктів згоряння та передають його повним спектром випромінювання до водоохолоджуваних поверхонь, розташованих у топці. Перебуваючи у стаціонарному режимі за незмінної температури, проміжні випромінювачі весь падаючий на них тепловий потік перевипромінюють на поверхні екрана у вигляді відбитого тепла та власного випромінювання.

Встановлення проміжних випромінювачів у топковій камері котла забезпечує інтенсифікацію променистого теплообміну, за рахунок чого збільшується тепловіддача в топці та відповідно підвищується ККД котлів та зменшується витрата палива.

Крім того, введення в зону факела проміжних випромінювачів дозволяє знизити максимальні температури в ядрі зони горіння, за рахунок чого зменшуються утворення та відповідно викиди токсичних речовин, насамперед оксидів азоту. Внаслідок зниження як максимальних температур у зоні горіння, так і температури на виході з топки та за котлом, полегшуються умови роботи, підвищується надійність та збільшується термін експлуатації котла.

Використання проміжних випромінювачів дозволяє:

- збільшити тепловіддачу у топці котла на 10–30%;
- зменшити витрату палива (природного газу) в котлах:
  - продуктивністю до 1 Гкал – на 3–5%;
  - продуктивністю 1–6 Гкал – на 1–3%;
  - продуктивністю 6–30 Гкал – на 0,6–1%;
- знизити утворення оксидів азоту на 20–30%;
- знизити температуру газів, що відходять, на 60–90 °С;
- підвищити надійність експлуатації та збільшити термін служби котлів (на 10–20%, або на 3–5 років) за рахунок зниження максимальних температур у зоні горіння на 30–70 °С.

Технологія не вимагає великих капітальних вкладень і експлуатаційних витрат, термін окупності становить 1–2 роки, залежно від типу котла.

Для виготовлення випромінювачів використовуються вогнетривкі матеріали на основі оксидів або тугоплавких сполук, що забезпечують можливість тривалої експлуатації в умовах високих температур в окисно-відновній середовищі за можливості реалізації досить великої кількості теплотмін.

Розроблено технічні рішення щодо застосування проміжних випромінювачів у котлах НІСТУ різних модифікацій, а також у котлах ТВГ, ДКВР, КВ-ГМ та інших продуктивністю до 30 Гкал/год (до 50 т/год пари).

### ***ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ:***

Україна, 03057, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а

Тел./факс: (+38 044) 456-92-62

e-mail: [office@engecology.com](mailto:office@engecology.com)

[www.engecology.com](http://www.engecology.com)

## РЕЦИРКУЛЯЦІЯ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ

Рециркуляція продуктів згоряння призначена для зниження токсичних викидів в атмосферу при спалюванні газоподібного або рідкого палива в котлах.

Рециркуляція продуктів згоряння є найбільш ефективним методом придушення утворення оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) при спалюванні як газу, так і мазуту, що дозволяє знизити вміст  $\text{NO}_x$  у газах, що відходять, на 60–70%. Метод заснований на відборі частини продуктів згоряння за котлом та подачі їх у зону горіння.

Реалізація технології рециркуляції продуктів згоряння на котлі не потребує підвищення продуктивності димососів, необхідне лише виготовлення перепускних трубопроводів для продуктів згоряння.

Практично лише з допомогою даного методу за невеликих витрат може досягатися значний екологічний ефект.

Крім цього, зменшується ймовірність перегріву екранних поверхонь топки, забезпечується вирівнювання полів температур у топковій камері, що дозволяє збільшити міжремонтні періоди.

Пропонований метод доцільно застосовувати для наступних парових та водогрійних котлів:

КВ-ГМ-100; 50; 30; 20; 10;

ДКВР-4; 10; 20;

ДЕ-16; 25;

ПТВМ-30; 50; 100;

ТВГ-4; 8; ТВГМ-30; КВГ-6,5.

Можливе розроблення індивідуальних рішень для інших котлів.

### ***ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ:***

Україна, 03057, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а

Тел./факс: (+38 044) 456-92-62

e-mail: [office@engecology.com](mailto:office@engecology.com)

[www.engecology.com](http://www.engecology.com)



## МОДЕРНІЗАЦІЯ КОТЛІВ ПТВМ-50

Стандартний котел  
ПТВМ-50

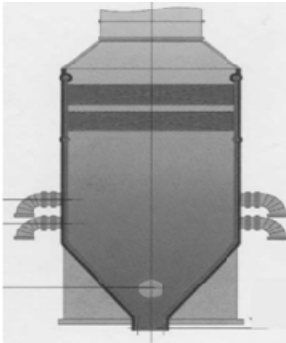
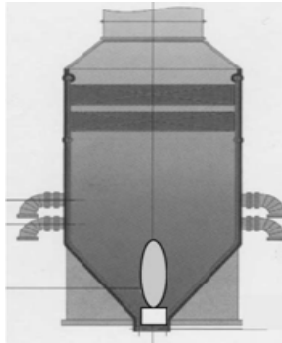


Схема модернізації  
ШЕ+ІГ



Встановлення до-  
даткового подового  
щільного пального



Схема модернізації  
ВАТ «Дорогобужкотломаш»

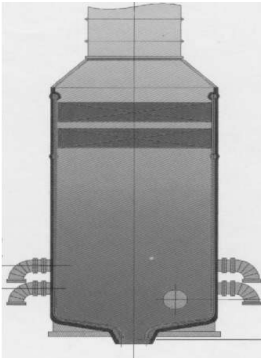
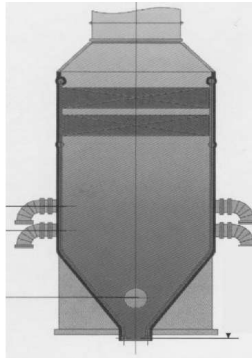


Схема модернізації  
фірми SAACKE (ФРГ)



– Заміна пальників

– Реконструкція каркаса  
котла зі зміною його форми  
та збільшенням висоти

– Заміна пальників

Параметр	Стандарт-ний котел	ШЕ+ПГ	Еконо-мія
Мінімальне навантаження, %	30	6	24
Час роботи на мінімальному навантаженні, год/рік	700	700	–
Витрати палива на номінальному навантаженні, м <sup>3</sup> /год	6700	6700	–
Витрати палива на мінімальному навантаженні, м <sup>3</sup> /год	2010	402	1608

Параметр	Стандарт-ний котел	Модернізація за схемою		
		ШЕ+ПГ	Дорогобужкотло-маш	SAASKE
Теплопродуктив-ність номінальна, МВт	58,2	69,8	69,8	58,2
Теплопродуктив-ність мінімальна, %	30	6	30	30
ККД котла, %	91	~93	91,6	~93
Термін окупності (кількість опалю-вальних сезонів)	–	0,5		2

*Керівник робіт:*

д.т.н., проф. І. Я. Сігал

Тел./факс: +380 44 456 6259

### ***ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ:***

Україна, 03057, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а

Тел./факс: (+38 044) 456-92-62

e-mail: office@engecology.com

www.engecology.com





## ЕКОНОМІЯ ГАЗУ ТА ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ КОТЛІВ ТВГ-8, ТВГ-8М, КВГ-7,56

Досвід експлуатації котлів ТВГ-8 та ТВГ-8М показав, що їх фактичний термін служби (при нормальних показниках експлуатації) істотно перевищує номінальний заводський термін (14 років) та обмежується станом не топкової, а конвективної поверхні нагріву та пальників.

Модернізація котлів із заміною пальників та конвективної поверхні нагрівання дозволяє підвищити ККД у середньому на 5% до рівня найкращих світових зразків і продовжити термін експлуатації на 15 років.

Для підвищення ефективності використання газу та зменшення енерговитрат у котлі встановлюються подові щілинні пальники 3-го покоління МППГ-3 (модернізований подовий випромінюючий пальник, розроблений Інститутами газу НАН України та Промислової екології, м. Київ). Пальники забезпечені спеціальними газовими соплами та направляючими для повітря, які забезпечують покращення процесів змішування газу з повітрям, працюють з малими надлишками повітря та інтенсифікують теплообмін у топках.

Конвективна поверхня нагріву замінюється на нову з труб  $\varnothing 32 \times 3$  (замість заводської  $\varnothing 28 \times 3$ ), яка має більший прохідний діаметр для води та більш розвинену поверхню теплообміну для котлів ТВГ-8 та ТВГ-8М та ін.

Після проведення модернізації (заміна пальників та заміна конвективної поверхні нагріву) котла ТВГ-8М, температура димових газів знижена на 70–80 °С, ККД котла підвищений на 4,3–5% до 94–96%. Модернізація забезпечує на одному котлі економію газу 172 тис. м<sup>3</sup>/рік, або за 15 років 2,6 млн м<sup>3</sup>. Окупність витрат на модернізацію котла ТВГ-8 (ТВГ-8М) складає 1,5 року.

Інститут газу НАН України,  
Інститут промислової екології  
Керівник робіт: д.т.н., проф. І. Я. Сігал  
Тел./факс: (+38 044) 456-62-59,  
(+38 044) 456-92-62  
e-mail: office@engecology.com  
www.engecology.com



## ПЕРЕОБЛАДНАННЯ ІСНУЮЧИХ ПАЛЬНИКІВ КОТЛІВ ТИПУ ДЕ ТА ДКВР З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ (ОСОБЛИВО В ОСІННЬО-ВЕСНЯНИЙ ПЕРІОД)

Котли ДЕ оснащені одним потужним пальником з обмеженим діапазоном стійкого регулювання, мають на деяких режимах вібрації, для уникнення яких збільшують навантаження котлів до стабільної роботи і, як наслідок, це призводить до перевитрат палива на 10–15%, особливо у осінньо-весняний період.

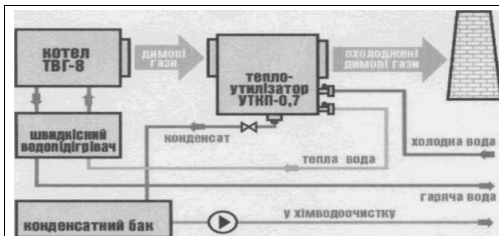
Розроблено спеціальні двоколекторні пальники, що дозволяють експлуатувати котел у широкому діапазоні навантажень від 5 до 120% з високими техніко-економічними та екологічними показниками. Ці газові пальники можуть бути встановлені під час ремонту або модернізації існуючих пальників котлів ДЕ. Заміна пальників не вимагає переобладнання котла – пальники встановлюються в наявну в котлі амбразуру. Основною перевагою такого пальника є наявність 2 газових колекторів (фактично двох газових пальників, один на 30%, а інший на 70% продуктивності), що дозволяє експлуатувати малий пальник на режимах до 30% продуктивності, не подаючи газ в основний газовий колектор, а основний – на режимах від 30 до 100%. Пальниковий пристрій такого типу успішно пройшов 2-річну промислову експлуатацію в котлі ДЕ-16, де забезпечив високий ККД котла на різних режимах продуктивності та регулювання довжини факела в широких межах. Можлива реконструкція існуючих пальників.

Порівняно з існуючими пальниками котлів ДЕ, реконструйовані на двоколекторні пальники ГМ-7Р, ГМ-10Р, ГМП-16Р (котел ДЕ-25) дають можливість при експлуатації котлів:

- Забезпечити роботу котлів без пульсацій та зриву полум'я у широких межах.
  - Забезпечити економію природного газу до 6–10% в осінньо-весняний період та 1–3% на номінальному навантаженні.
  - Підвищити надійність експлуатації (регулювання довжини факела та інших параметрів при постійному навантаженні).
  - Зменшити викиди оксидів азоту на 30%.
- Термін окупності складає у середньому 6 міс.

Інститут газу НАН України,  
Інститут промислової екології  
Керівник робіт: д.т.н., проф. І. Я. Сігал  
Тел./факс: (+38 044) 456-62-59,  
(+38 044) 456-92-62  
e-mail: office@engecology.com  
www.engecology.com

<b>КОНДЕНСАЦІЙНИЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОР УТКП-0,7</b>		<b>КОНТАКТНА КОМБІНОВАНА ТЕПЛОУТИЛИЗАЦІЙНА УСТАНОВКА</b>	
<p align="center"><b>ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД КОНДЕНСАЦІЙНОГО ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРА УТКП-0,7</b></p> <p>1-теплообмінник 2-байпасний газокід 3-сигурне вікно 4-конденсаторівник зробисті труби 6-здринний клапан</p>		<p align="center"><b>Технічні характеристики контактної комбінованої теплоутилізаційної установки, змонтованої за котлоагрегатом ДКВР-10/13</b></p>	
<p align="center"><b>Технічні характеристики теплоутилізатора УТКП-0,7</b></p>		<p>Паропродуктивність котлоагрегату, т/г</p>	9,8
<p>Теплова продуктивність номінальна, МВт</p>		0,7	
<p>Підвищення коефіцієнту використання палива, %</p>		8	
<p>Температура димових газів на вході ТУ, °С</p>		183	
<p>Температура димових газів на виході ТУ, °С</p>		90	
<p>Максимальні витрати відхідних газів, кг/сек</p>		3,15	
<p>Температура води на вході ТУ, °С</p>		10	
<p>Температура води на виході, °С</p>		22,5	
<p>Максимальні витрати води, т/год°</p>		50	
<p>Максимальний об'єм виникаючого конденсату, кг/с</p>		0,13	
<p>pH конденсату</p>		5,0	
<p>Аеродинамічний опір, Па</p>		250	
<p>Гідрравлічний опір, кПа</p>		30	
<p>Габаритні розміри, мм</p>		2250/ 1100/ 1700	
<p>Маса ТУ, кг</p>		750	
		<p>Частка димових газів, що проходять через економайзер, %</p>	50
		<p>Коефіцієнт розбавлення продуктів згоряння перед установкою</p>	1,64
		<p>Температура димових газів, °С:</p> <p>– перед економайзером</p> <p>– після економайзера</p>	110 38
		<p>Температура повітря, що нагрівається, °С:</p> <p>– перед повітряпідігрівачем</p> <p>– після повітряпідігрівача</p> <p>– температура нагрітої циркуляційної води, °С</p> <p>– опір економайзера, Па</p> <p>– опір повітря підігрівача, Па</p> <p>– зниження викидів оксидів азоту, кг/доба</p> <p>– економія природного газу, %</p>	-10 33 46 230 320 15,4 5,33



**Теплоутилізатор УТНП-0,7  
м. Чернівців**

Україна, 03057, Київ  
вул. Марії Капніст, 2а  
www.engecology.com



**Контактна комбінована  
теплоутилізаційна установка**

**АР Крим, м. Сімферополь**  
Впровадження цієї технології дозволяє знизити викиди оксидів азоту в атмосферу не менше ніж на 50–60%, зменшити на 8–10% витрату палива (природного газу) і одержати конденсат, придатний для підживлення тепломережі.

Тел./факс: (044) 456-92-62  
e-mail: office@engecology.com

## **ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ РІДКОГО ПАЛИВА НА ВЛАСНІ ПОТРЕБИ КОТЕЛЬНІ ЗА РАХУНОК ПІДГРІВУ ПАЛИВА ДИМОВИМИ ГАЗАМИ**

У котельнях, що працюють на рідкому паливі (як основному, так і резервному), на розігрів цього палива (мазут М100, М40) використовується понад 15% теплоти його згоряння. Для мазуту марки М200 та «Компонент» ця величина ще більша. Положення погіршується тим, що більшість котелень з водогрійними котлами не мають пари, необхідної для звичайної схеми розігріву мазуту. Встановлення спеціальних невеликих парових котлів потребує великих витрат та недоцільно.

Інститутом промислової екології розроблена система підігріву мазуту димовими газами котлів, з використанням частини штатного котлового економайзера. Проводяться перерахунки фактично необхідної поверхні теплообміну котлового економайзера з урахуванням максимального фактичного навантаження котла. З огляду на те, що котли, як правило, не нові, фактично допустиме навантаження зазвичай на 15–20% нижче, ніж розрахункове. Таким чином, можливе (уточнюється розрахунками) використання 15–20% поверхні штатного економайзера для підігріву в них мазуту. Така реконструкція котла не вимагає великих витрат коштів, але передбачає встановлення дренажної системи для очищення трубних пучків від мазуту під час зупинки роботи системи та перед її завантаженням.

Використання такої системи підігріву дозволяє забезпечити економію не менше ніж 15% мазуту за рахунок зменшення витрат на власні потреби.

Термін окупності необхідного переобладнання становить трохи більше року.

### ***ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ:***

Україна, 03057, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а

Тел./факс: (+38 044) 456-92-62

e-mail: [office@engecology.com](mailto:office@engecology.com)

[www.engecology.com](http://www.engecology.com)

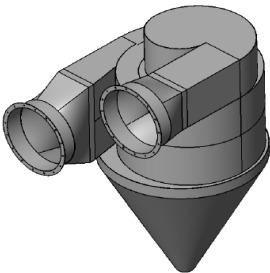
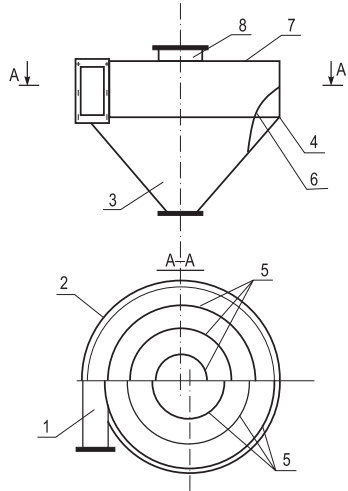
## ВІДЦЕНТРОВИЙ ФІЛЬТР

**Відцентровий фільтр** є найбільш універсальним та ефективним типом циклонних пиловловлювачів. Він призначений для сухого очищення газів, що виділяються при різних технологічних процесах (сушці, випаленні, агломерації, спалюванні палива тощо), а також аспіраційного повітря в різних галузях промисловості (чорної та кольорової металургії, хімічної, нафтової та машинобудівної промисловості, промисловості будівельних матеріалів, енергетики тощо). Підвищення ефективності очищення газового потоку від твердих частинок у відцентровому фільтрі досягається шляхом поєднання двох принципів очищення в одному апараті: відцентрової сепарації та багаторазової фільтрації через саморегенеруючий динамічний пиловий шар.

В основу пиловловлюючого апарату нового покоління – відцентрового фільтра покладена система послідовно з'єднаних криволінійних каналів із замкнутими контурами.

Апарат складається з сепараційної камери, виконаної у вигляді з'єднаних з кришкою (7) і днищем (6) напівциліндрів (5) і корпусу (2), вхідного (1) і вихідного (8) патрубків, бункера – пилозбірника (3).

Кількість сепараційних камер і каналів у них може змінюватись в залежності від умов конкретних виробництв (витрати газового потоку, дисперсного складу пилу, необхідного ступеня очищення та ін.).



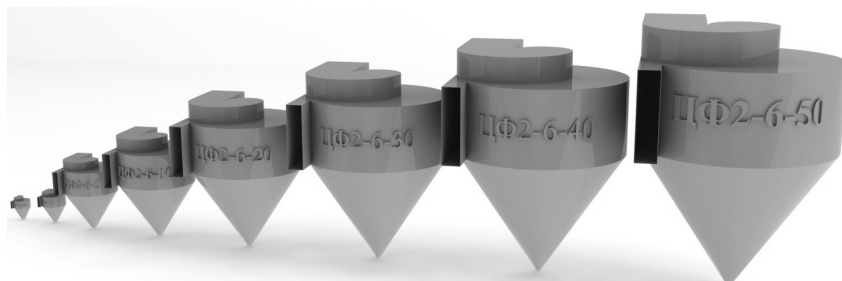
Модулі відцентрових фільтрів можуть компоуватися як в блоки заданої продуктивності, так і у вигляді багаступінчастих систем очищення.

Ефективність уловлювання, в залежності від кількості каналів у відцентровому фільтрі при уловлюванні пилу, починаючи з медіанного діаметра 5 мкм, наведена в таблиці:

Число каналів у відцентровому фільтрі, <i>n</i>							
1	2	3	4	5	6	7	8
Коефіцієнт уловлювання, %							
50	67	80	89	94	97	98	99

Адекватність наведених даних багаторазово підтверджено промисловими випробуваннями відцентрових фільтрів у різних галузях промисловості.

Поряд з високою ефективністю вловлювання і невеликими енерговитратами, відцентровий фільтр має також можливість позиційного регулювання об'єму газу, що очищається, на 50% і 100% розрахункової витрати без втрати ефективності очищення.



*Типоряд апаратів одиничною продуктивністю від 0,1 до 50 тис. м<sup>3</sup>/год*

Адреса для запиту на додаткову інформацію:

***ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ:***

Україна, 03057, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а

Тел./факс: (+38 044) 456-92-62

e-mail: [office@engecology.com](mailto:office@engecology.com)

[www.engecology.com](http://www.engecology.com)

## ВИПРОБУВАЛЬНА ЛАБОРАТОРІЯ ІТТФ НАН УКРАЇНИ

В Інституті технічної теплофізики НАН України працює випробувальна лабораторія. Лабораторія була атестована у 2010 році на підставі закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», укомплектована устаткуванням, розробленим в ІТТФ НАН України.

Лабораторія може проводити наступні роботи:

◆ Контактне та безконтактне обстеження огорджувальних будівельних конструкцій, визначення опору теплопередачі в лабораторних та натурних умовах, а також виявлення дефектів теплоізоляції будівель з метою визначення енергоефективності будівель.

◆ Ефективну термомодернізацію існуючого житлового фонду за рахунок використання якісних сучасних теплоізоляційних матеріалів.

◆ Визначати теплоту гідратації бетонів, що використовуються при будівництві фундаментів багатоповерхових споруд, та проводити моніторинг розподілу температурних полів при заливці бетонних фундаментів.

◆ Визначати інтегральні тепловтрати на ділянках теплотрас та тепловий опір ізоляції попередньо ізольованих труб.

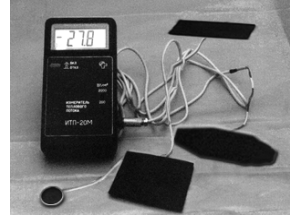
◆ Визначати об'ємну кількість неагресивних газів в установках комунальних та промислових підприємств (теплообмінні установки, генератори вологого газу).

◆ Проводити вимірювання реальних параметрів вживаного палива.

◆ Визначати ефективність обладнання енергетичних об'єктів ЖКГ (котельні, теплопункти та тепломережі).

◆ Вимірювати енерговитрати у тепломережах та будівлях.

◆ Визначати теплозахисні властивості матеріалів для нового будівництва та термомодернізації вже існуючих споруд.



Спеціалістами ІТТФ НАНУ розроблені та виробляються прилади для контролю параметрів енергогенеруючих об'єктів та тепломереж комунальної енергетики:

1. Портативні цифрові вимірювачі, прилади та інформаційно-вимірювальні комплекси для контролю теплових потоків і температур обмурівки котлоагрегатів і теплоізоляції трубопроводів. Впроваджено 14 приладів.
2. Термоелектричні приймачі теплового випромінювання для забезпечення надійності та ефективності роботи радіаційних екранних поверхонь нагріву в топковому просторі котла. Впроваджено 11 приладів.
3. Прилади вимірювального та індикаторного позначення для забезпечення мінімальних втрат при передачі виробленої теплоти споживачеві. Впроваджено 9 приладів.

### **ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ:**

Україна, 03057, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а  
Тел.: (+38 044) 456-60-91



Наукове видання

# ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

*Збірник праць*

(англ., рос., укр. мовами)

За редакцією  
кандидата технічних наук  
О. І. Сігала

Відповідальний редактор	О. І. Сігал
Редактори	Н. Ю. Павлюк Д. Ю. Падерно
Комп'ютерна верстка	О. В. Авдєєнко

*Редакційна колегія не несе відповідальності  
за зміст наданих матеріалів*

Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. 12,79.  
Обл.-вид. арк. 12,54. Тираж 100 екз. Зам. № 2717.

Державне підприємство «Інженерно-Виробничий Центр АЛКОН» НАН України  
04074, м. Київ-74, вул. Автозаводська, 2  
*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
ДК № 987 від 22.07.2002 р.*

Виготовлено в ТОВ «ПЛАНЕТА ПРІНТ»  
04074, м. Київ, вул. Шахтарська, 5

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД ТА ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ  
ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ  
ВСЕУКРАЇНСЬКА ЕНЕРГЕТИЧНА АСАМБЛЕЯ  
КОНСОРЦІУМ З РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

XXXIV міжнародна конференція

## ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

м. Київ, 18–20 грудня 2024 року

### ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦІЇ:

- розподілена генерація;
- шляхи скорочення споживання природного газу та заміщення його іншими видами палива в комунальній теплоенергетиці;
- відновлення та експлуатація об'єктів промислової та муніципальної енергетики;
- сучасні екологічно чистіші та енергозберігаючі технології спалювання палив;
- концепція декарбонізації в комунальній теплоенергетиці;
- енергозбереження в комунальній теплоенергетиці;
- екологічні проблеми енергетики;
- зменшення забруднення навколишнього середовища і зниження викидів парникових газів енергооб'єктами відповідно до вимог Директив ЄС;
- процеси управління твердими побутовими відходами.

Оргкомітет запрошує зацікавлені міністерства і відомства, науково-дослідні, виробничі організації та фірми взяти участь у роботі конференції.

Додаткову інформацію можна отримати за тел.:  
(044) 456 9262, (+38 096) 110 3981  
Ніжник Наталія Андріївна  
e-mail: [office@engecology.com](mailto:office@engecology.com)  
[www.engecology.com](http://www.engecology.com)