



# ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

Київ-2025

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД ТА ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІКИ, ДОВКІЛЛЯ  
ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА 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  
2025

*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, 2025. – 202 с.  
ISBN 978-966-8449-74-1

В збірнику розміщені праці учасників XXXIV Міжнародної онлайн-конференції «Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики» (18–20 грудня 2024 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> МІРКУВАННЯ ЩОДО МАЙБУТНЬОГО ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ .....	8
<b>Сігал О. І., Падерно Д. Ю.</b> ВИМУШЕНА ЗМІНА ПРІОРИТЕТІВ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ УКРАЇНИ.....	21
<b>Снєжкін Ю. Ф., Корінчевська Т. В., Пазюк В. М., Михайлик В. А.</b> АЛЬТЕРНАТИВНЕ ТВЕРДЕ ПАЛИВО З ВІДХОДІВ.....	26
<b>Сатін І. В., Куций Д. В.</b> ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ З МІСЦЬ ВИДАЛЕННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ТА ЗАХОДИ ЩОДО ЇХ СКОРОЧЕННЯ.....	30
<b>Фіалко Н. М., Сігал О. І.</b> ПКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ І ТРАДИЦІЙНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ЇХ ПОКРИТТЯ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ УКРАЇНИ .....	37
<b>Фіалко Н. М., Сігал О. І., Шеренковський Ю. В., Бикоріз Є. Й., Меранова Н. О.</b> АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ПОКРИТТЯ ПКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ УКРАЇНИ .....	41
<b>Сігал О. І., Падерно Д. Ю.</b> ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ КОГЕНЕРАЦІЇ В М. КИЄВІ .....	44
<b>Sigal O. I., Paderno D. Yu., Safiants A. S., Ceren B., Chekunova S.</b> PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE DISTRICT HEATING SYSTEM IN THE CITY OF MYKOLAIV .....	49
<b>Сігал О. І., Падерно Д. Ю., Удод Є. Г.</b> НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА КРИВОГО РОГУ .....	56
<b>Сігал О. І., Падерно Д. Ю., Дамм В.</b> ШЛЯХИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА КРИВОГО РОГУ .....	62
<b>Сігал І. Я., Сміхула А. В., Марасін О. В., Домбровська Е. П., Горбунов О. В., Козирєв О. О.</b> ЗАМІЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ВІДНОВЛЮВАНИМИ АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ГАЗОВИМИ ПАЛИВАМИ В ІСНУЮЧИХ ПАРОВИХ ТА ВОДОГРІЙНИХ КОТЛАХ .....	72

<b>Дутка О. В.</b> РОЗРОБЛЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ТА КОМБІНОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗАСТАРІЛИХ ГАЗОВИХ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ .....	76
<b>Нікітін Є. Є., Дутка О. В.</b> ТРАНСФОРМАЦІЯ ЗАСТАРІЛИХ ГАЗОВИХ КОТЕЛЕНЬ ЗІ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ, КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК ТА АКУМУЛЯТОРІВ ЕНЕРГІЇ .....	79
<b>Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Сергієнко Р. В., Шевчук С. І., Гнедаш Г. О.</b> ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ЕКОЛОГОЕФЕКТИВНИХ ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОТЛІВ .....	81
<b>Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Жученко І. М., Шевчук С. І., Гнедаш Г. О.</b> ВПЛИВ ЗАПИЛЕНОСТІ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОГО УСТАТКУВАННЯ СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК.....	85
<b>Риженко І. Є., Гуля О. М.</b> ПРОЄКТИ ВІДНОВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ВУГІЛЬНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ, ЩО ПОТЕРПІЛИ ВНАСЛІДОК РАКЕТНИХ ОБСТРІЛІВ – В ЯКОСТІ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ СПОЖИВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ .....	88
<b>Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Прокопов В. Г., Кліщ А. В., Альошко С. О., Полозенко Н. П., Сороковий Р. Я.</b> МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ЗОНИ ГОРІННЯ ПАЛЬНИКОВИХ ПРИСТРОЇВ З БАГАТОРЯДНОЮ ПОДАЧЕЮ ПАЛИВНОГО ГАЗУ .....	91
<b>Фіалко Н. М., Гнедаш Г. О., Шевчук С. І., Новаківський М. О., Глушак О. Ю.</b> МОДЕРНІЗОВАНА КОМБІНОВАНА ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОСПОЖИВАЛЬНИХ КОТЛІВ .....	95
<b>Фіалко Н. М., Степанова А. І., Сбродова Г. О., Гнедаш Г. О., Шевчук С. І.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ НА ОСНОВІ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО ПІДХОДУ КОМБІНОВАНОЇ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ .....	99

<b>Фіалко Н. М., Степанова А. І., Гнедаш Г. О., Шевчук С. І., Новаківський М. О.</b> ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ НАГРІВАННЯ І ЗВОЛОЖЕННЯ ДУТТЬОВОГО ПОВІТРЯ.....	103
<b>Сігал О. І., Ніжник Н. А.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВМІСТУ ВОДНЮ У ВОДНОМУ РОЗЧИНІ НА УТВОРЕННЯ NO <sub>2</sub> У ФРОНТІ ПОЛУМ'Я ЛАМІНАРНОГО ФАКЕЛУ МЕТАНУ .....	107
<b>Колієнко А. Г., Загорулько В. А.</b> ВИЗНАЧЕННЯ І АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ГОРЮЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК БІОМАСИ.....	110
<b>Колієнко А. Г., Загорулько В. А.</b> ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ НА ГОРЮЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БІОМАСИ .....	114
<b>Буйнявичус К., Иомантас Г.</b> ВЛИЯНИЕ НЕПОЛНОТЫ СГОРАНИЯ БИОТОПЛИВА НА КОНЦЕНТРАЦИИ СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ ...	119
<b>Бикоріз Є. Й., Плашихін С. В., Магєра Ю. М., Чернокрилюк В. В., Мельниченко Ю. В.</b> ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ РОЗВИТКУ ТА ШИРОКОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ З ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ТА ПРОДУКТІВ З НИХ .....	122
<b>Павлюк Н. Ю.</b> DEPOSIT AND RETURN SYSTEMS. <i>ЗАКОНОДАВСТВО</i> .....	125
<b>Павлюк Н. Ю.</b> DEPOSIT AND RETURN SYSTEMS. <i>ВПРОВАДЖЕННЯ В КРАЇНАХ ЄВРОПИ, АЗІЇ, СВІТУ</i> .....	129
<b>Павлюк Н. Ю.</b> DEPOSIT AND RETURN SYSTEMS. <i>ВПРОВАДЖЕННЯ У ПОЛЬЩІ</i> .....	135
<b>Тарадай О. М., Дяченко С. В.</b> ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ВНУТРІШНЬОБУДИНКОВИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ .....	138
<b>Бикоріз Є. Й., Плашихін С. В., Магєра Ю. М., Чернокрилюк В. В., Стасюк В. Я.</b> ПРОБЛЕМИ СТАБІЛЬНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ МУНІЦИПАЛЬНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ .....	143

<b>Бикоріз Є. Й., Плашихін С. В., Маєра Ю. М., Чернокрилюк В. В., Мельниченко Ю. В.</b> СТРУКТУРА ТА ОСОБЛИВОСТІ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА МУНІЦИПАЛЬНОМУ РІВНІ.....	148
<b>Бикоріз Є. Й., Плашихін С. В., Маєра Ю. М., Чернокрилюк В. В., Мельниченко Ю. В.</b> ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У МУНІЦИПАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ТЕПЛСПОЖИВАННЯ.....	152
<b>Фляшовський В. А., Крилова І. І.</b> АНАЛІЗ ЗАКОНОДАВЧОЇ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ УКРАЇНИ З ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ: ОСНОВНІ ПРАВОВІ АСПЕКТИ.....	156
<b>Петрова Ж. О., Пазюк В. М., Новікова Ю. П., Бадеха А. В.</b> КІНЕТИКА ПРОЦЕСУ СУШІННЯ КОМПОЗИТНОЇ СУМІШІ  НА ОСНОВІ ФІЛЬТРАТУ СТІЧНИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ, ТОРФУ ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ СИРОВИНИ .....	160
<b>Фіалко Н. М., Кузьменко І. М.</b> ВИКОРИСТАННЯ СКРУБЕРІВ ПЛІВКОВОГО ТИПУ У ВИРОБНИЦТВІ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ.....	164
<b>Дзюбан Ю. І., Горський В. В., Маляренко О. Є.</b> ІНТЕГРАЦІЯ ВДЕ В СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМ.....	167
<b>Панченко О. С.</b> ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТА ШЛЯХИ ЇЇ ЗНИЖЕННЯ .....	170

## ***НА ПРАВАХ РЕКЛАМИ***

- КОМПАНІЯ З РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ..... 174
- МОДУЛЬ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛА  
«МАГТ 198»..... 175
- МОНОГРАФІЯ «ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА ОДЕСИ»..... 178
- РОБОТИ, ЯКІ ВИКОНУЄ ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ  
ЕКОЛОГІЇ ..... 179
- КОТЕЛ ВОДОГРІЙНИЙ ВОДОТРУБНИЙ, ПРАЦЮЮЧИЙ  
НА ПРИРОДНОМУ ГАЗІ НИЗЬКОГО ТИСКУ,  
ТЕПЛОПРОДУКТИВНІСТЮ 2,0 МВт (КВВ-2,0 Гн)..... 182
- КОТЕЛ ВОДОГРІЙНИЙ ВОДОТРУБНО-ДИМОГАРНИЙ  
ТЕПЛОПРОДУКТИВНІСТЮ 0,63 МВт (КВВД-0,63 Гн)..... 183
- УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ І ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ  
АЗОТУ КОТЛАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТАКТНОЇ  
КОМБІНОВАНОЇ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ..... 185
- МОДЕРНІЗОВАНІ ПОДОВІ ПАЛЬНИКИ ТИПУ МПГ  
ДЛЯ КОТЛІВ ПРОДУКТИВНІСТЮ ДО 10 Гкал/год ..... 187
- ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТОПКОВОГО ТЕПЛООБМІНУ В КОТЛАХ  
ШЛЯХОМ ВСТАНОВЛЕННЯ ВТОРИННИХ (ПРОМІЖНИХ)  
ВИПРОМІНЮВАЧІВ ..... 189
- РЕЦИКУЛЯЦІЯ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ..... 191
- МОДЕРНІЗАЦІЯ КОТЛІВ ПТВМ-50 ..... 192
- ЕКОНОМІЯ ГАЗУ ТА ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ  
КОТЛІВ ТВГ-8, ТВГ-8М, КВГ-7,56..... 194
- ПЕРЕОБЛАДНАННЯ ІСНУЮЧИХ ПАЛЬНИКІВ КОТЛІВ  
ТИПУ ДЕ ТА ДКВР З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТИ  
ПРИРОДНОГО ГАЗУ (ОСОБЛИВО В ОСІННЬО-ВЕСНЯНИЙ  
ПЕРІОД)..... 195
- КОНДЕНСАЦІЙНИЙ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОР УТКП-0,7.  
КОНТАКТНА КОМБІНОВАНА ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНА  
УСТАНОВКА ..... 196
- ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ РІДКОГО ПАЛИВА НА ВЛАСНІ ПОТРЕБИ  
КОТЕЛЬНОЇ ЗА РАХУНОК ПІДГРІВУ ПАЛИВА ДИМОВИМИ  
ГАЗАМИ ..... 198
- ВІДЦЕНТРОВИЙ ФІЛЬТР ..... 199
- ВИПРОБУВАЛЬНА ЛАБОРАТОРІЯ ІТТФ НАН УКРАЇНИ ..... 201

## **МІРКУВАННЯ ЩОДО МАЙБУТНЬОГО ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ**

Стагнація економіки протягом останніх 30 років в Україні забезпечувала відповідне зростання профіциту встановленої потужності існуючої застарілої генерації. Саме тому не відбувалося будівництво нових потужностей. Війна, нажаль, позбавила нас як від зайвих, так і від необхідних встановлених потужностей. Таким чином, Україна, недотягнувши до енергопереходу, постала перед необхідністю побудови нових енергопотужностей.

До цього питання може бути три підходи:

1. Будувати необхідні тимчасові енергооб'єкти розподіленої генерації на короткий термін перехідного періоду та очікувати закінчення війни, зрозумілого розвитку економіки та проривних змін в енергопостачанні країн – світових лідерів.
2. Намагатися підтримати та відбудувати існуючі об'єкти великої генерації і на деякий період опинитися з енергією, але в ар'єргарді світового енергетичного розвитку.
3. Взяти на себе виклики і ризики та першими випробувати новітні світові технології в промисловому масштабі.

Плюси та мінуси кожного з варіантів повинні бути ретельно розглянуті фаховою спільнотою.

Інша сторона справи, це кошти для втілення кожного з сценаріїв. Так, за тридцять плюс останні роки Україна була відкинута майже в самий низ піраміди Маслоу. Тобто, від використання у 1991 році 118 млрд м<sup>3</sup> газу – третє місце у світі після США та Росії до 20 млрд м<sup>3</sup> у 2024 році, що ледь достатньо для енергозабезпечення життєдіяльності населення яке залишилося.

Власних грошей на розвиток енергетики по будь якому з сценаріїв у нас практично немає, тож немає і права на помилку, бо на допомогу можна розраховувати тільки один раз.

Тоді розглянемо, який з сценаріїв більш цікавий допомагаючим, тобто на який з них більш вірогідно отримати гроші. Фактично нам доцільно ще проаналізувати досвід колишніх колоній, які за 20–

40 років після звільнення повністю амортизували обладнання, що залишили французи та британці і не побудували нічого, отримують гуманітарну допомогу у вигляді генераторів з прямим вихлопом у доквілля та бочок з дизельним паливом.

Фактично цей сценарій допомоги, адаптований до розмірів та рівня України, запропонований і нам з урахуванням використання розподіленої генерації від Європи та зрідженого газу від Америки. Це дійсно єдине можливе швидке рішення під час війни, але щоб воно не виявилося взагалі єдиним і в подальшій перспективі.

Щодо відбудови існуючих об'єктів, слід подивитися можливі реалістичні сценарії закінчення війни щодо територій і об'єктів генерації на них, що можуть залишитися під енергетичним забезпеченням України. Однак, навряд чи то будуть вже вугільні електростанції Донбасу.

Ще одна сторона справи – «зелені зобов'язання» України, необхідність їх виконання та конкурентоздатність нашої економіки після цього. Звісно, від тих зобов'язань ніхто нас не звільнить, але можна спробувати відтермінувати їх виконання з огляду на ситуацію та стан економіки.

Енергетика обслуговує економіку Країни. Нажаль, ми поки не розуміємо, яку саме економіку ми будуємо? Нижче наведене необхідне виробництво електроенергії для різних типів економіки (за даними Ю. Н. Бондаренко):

- виключно аграрна – 34,8 млрд кВт·год;
- аграрно-промислова – 39,0 млрд кВт·год;
- промислова – 50,7 млрд кВт·год.

Тільки наявність безперебійного енергопостачання з конкурентною на світових ринках ціною здатне забезпечити промисловий розвиток Країни.

Порівняння ситуації в енергетиці України у 2021–2024 роках показано на рисунку.

У 2021 р. вироблялося 47,2 ГВт, в 2024 р. – вже тільки 23,2 ГВт, на листопад 2025 р. біля 17 ГВт, це зважаючи на те, що для сталого проходження опалювального сезону необхідно близько 30 ГВт.

*Щодо взятих зобов'язань, які закріплені в законодавчих актах України, що обтяжують і так не просту ситуацію, законодавство України зараз включає:*

- Закон України «Про основні засади державної кліматичної політики» визначає, що державна кліматична політика спрямована на досягнення кліматичної нейтральності України до 2050 року.

- Закон України «Про енергетичну ефективність» та Директива 2012/27/ЄС «Про енергоефективність» визначають, що система централізованого тепlopостачання вважається ефективною, якщо вона використовує мінімум 50% відновлюваної енергії, або 50% відпрацьованої (скидної) теплоти, або 75% теплоти від когенерації, або 50% сукупності такої енергії та теплоти.
- Законопроект КМУ № 14067 від 22.09.2025 «Про внесення змін до деяких законів України щодо підтримки розвитку ефективного та сталого централізованого тепlopостачання» передбачає обов'язковість встановлення ІТП в будівлях та затвердження органами місцевого самоврядування місцевих програм встановлення ІТП в будівлях, приєднаних до системи централізованого тепlopостачання.
- Стратегія розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року.
- Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року.
- План заходів щодо виконання зобов'язань в рамках Договору про заснування Енергетичного Співтовариства.
- Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок.



**Рисунок.** Порівняння ситуації в енергетиці України у 2021–2024 роках.

Аналізуючи потенційні можливості України щодо досягнення цілей декарбонізації до 2050 року можна очікувати, що:

- вплив змін клімату забезпечить скорочення потреб у тепловій енергії та, відповідно, у споживанні палива на 20%;

- комплексна термомодернізація будівель бюджетної сфери та житлових будинків (утеплення огорожувальних конструкцій, осучаснення вікон, заміна входних дверей у під'їздах тощо) забезпечить скорочення потреб у тепловій енергії на опалення в обсязі 25–30%;
- встановлення ІТП в житлових будинках забезпечить економію 5–10%, в нежитлових будівлях – до 25%.

Значним може бути зменшення втрат в теплових мережах. Так, заміна трубопроводів на попередньоізольовані з оптимізацією діаметрів трубопроводів може зменшити втрати теплової енергії в мережах з 16–18% на цей час до 5%, тобто на 11–13%.

Стратегія досягнення вуглецевої нейтральності виробництва теплової енергії до 2050 року характеризується чотирма основними чинниками:

1. Природний чинник – глобальні зміни клімату забезпечують скорочення потреби на опалення на 20–22%.
2. Зменшення потреби в тепловій енергії та, відповідно, у споживанні палива за рахунок термомодернізації будівель – до 30%, встановлення індивідуальних теплових пунктів – до 10%.
3. Скорочення втрат теплової енергії в теплових мережах за рахунок використання попередньоізольованих трубопроводів, оптимізації діаметрів трубопроводів, переходу на низькотемпературні графіки роботи – інтегрально на 10–20%.
4. Заміщення викопного палива на вуглецевонейтральні види палива та енергії, такі як: сонячна енергія, біомаса, біо/штучні/синтетичні гази, тепловий потенціал водойм, повітря, каналізаційних стоків, шахтних вод, скидна теплота промислових підприємств, залишкові тверді побутові відходи та штучне паливо з них (RDF, SRF), електрична енергія з відновлюваних джерел. Всі ці заходи можуть забезпечити скорочення потреби в викопному паливі сумарно – до 60%.

Розглянемо всі ці можливості послідовно:

*Використання сонячної енергії.* Приймаємо середньорічний рівень інсоляції – 3,44 кВт·год/м<sup>2</sup>/добу.

*Сонячні теплові системи – сонячні колектори.* Приймаємо ккд сонячного колектору – до 82%, теплову потужність – близько 0,775 кВт/м<sup>2</sup>.

Розглядаємо встановлення на дахах будівель котелень сонячних колекторів в комбінації з встановленням баків-накопичувачів для житлових будинків з відновленням гарячого водопостачання на локальному рівні, а також для закладів, що споживають значну кількість теплової енергії в літні місяці, наприклад, басейни, лікарні тощо.

*Сонячні системи для отримання електроенергії (СЕС).* Приймаємо ккд сонячного фотогальванічного модуля – до 24%. Загальна електрична потужність до 2,0 МВт.

Розглядається технічне рішення щодо встановлення на дахах будівель котелень СЕС для власних потреб теплових джерел для забезпечення резервного енергоживлення об'єктів критичної інфраструктури.

*Використання біомаси* і в першу чергу деревинних відходів деревообробної промисловості, деревинних відходів зелених насаджень міста, відходів тари та упаковки, сільськогосподарських відходів у вигляді соломи, соняшникового лущиння, енергетичних культур тощо.

Котли на біомасі можуть бути встановлені на потужних теплоджерелах, з урахуванням логістичних аспектів та наявності резервних генеруючих потужностей на газовому паливі чи біометані. Таке технічне рішення може забезпечити заміщення 10–12% загальних залишкових витрат палива.

*Використання залишкових твердих побутових відходів.* В 2024 році в Україні утворилось біля 8,5 млн т твердих побутових відходів (ТПВ). Близько 91% відходів в Україні видаляються для захоронення на полігони та сміттєзвалища. Близько 25–30% відходів не підлягають багаторазовому використанню чи переробці, тобто є залишковими, але містять енергетичний потенціал.

Спалювання цих залишкових відходів може значно скоротити кількість захоронення відходів на полігонах (фактично сміттєзвалищах). Це зменшить викиди парникового газу метану, що сприятиме досягненню вуглецевої нейтральності Країною.

Національний план управління відходами до 2033 року передбачає:

- розроблення проекту акту про затвердження технічних вимог виробництва та використання палива, отриманого з відходів (RDF/SFR);
- будівництво об'єктів оброблення побутових відходів:
  - механіко-біологічного оброблення;
  - компостування;
  - термічного оброблення;
  - анаеробного оброблення для виробництва біогазу.

Відновлення енергетичного потенціалу залишкових ТПВ є найбільш доступним міським альтернативним джерелом енергії, розташованим біля споживачів теплової енергії – підприємств теплокомуненерго.

Підприємства системи теплокомуненерго (ТКЕ) забезпечують 5,3 млн домогосподарств тепловою енергією, що становить близько 24 млн Гкал на рік, відновлення енергетичного потенціалу ТПВ великих міст України дозволить замінити біля 10% природного газу, що використовується для централізованого опалення та ГВП населення міст України.

Обґрунтованою є необхідність будівництва в Україні 9 ТЕЦ, на яких використовуватиметься штучне паливо з ТПВ. У близькій перспективі планується будівництво 2 заводів з енергетичного відновлення ТПВ у м. Києві та по одному заводу у містах Харків, Дніпро, Львів, Одеса, Запоріжжя, Тернопіль, Житомир, Чернівці.

*Використання біо/штучних/синтетичних газів* для систем централізованого тепlopостачання від наступних джерел:

- *Біогаз* з полігонів ТПВ, від очисних споруд, від компостування відходів тваринництва та харчової промисловості.
- *Супутні гази металургійних, хімічних та коксохімічних підприємств* на основі застосування традиційних теплообмінних апаратів та/або теплових насосів.
- *Біометан*. В Україні вже впроваджені 85 біогазових заводів та 4 біометанові установки загальною потужністю 41 млн м<sup>3</sup> біометану на рік. Планується виробництво 111 млн м<sup>3</sup> на рік, загальний потенціал оцінюється у 21,8 млрд м<sup>3</sup> на рік. В перспективі буде постачатись через існуючу газову мережу для потреб України та на експорт.
- *Воденьовмісткі гази (водень та синтетичний метан)*. «Золотий» водень підземних родовищ, водень від електролізу води з використанням «зеленої» електроенергії, синтетичний метан в результаті реакції взаємодії водню з діоксидом вуглецю з димових газів котлів може забезпечити заміщення від 4% до в перспективі 100% природного газу.

*Використання теплового потенціалу низькопотенційних джерел*, поверхневих водойм річок та озер (+6...10 °С). Використання *геотермальної енергії та шахтних вод* (+15...30 °С), *стічних вод* міських станцій аерацій, каналізаційних стоків (+12°...14 °С), *навколишнього повітря* (для обігріву малопотужних споживачів, віддалених від інших теплових джерел).

*Відхідні гази когенераційних та теплоутилізаційних установок* мають практично необмежений тепловий потенціал. При перспективній доступності «зеленої» електроенергії в обсягах на рівні 15% потреб

теплопостачання потенційне заміщення до 50–60% загальних витрат палива.

*Джерела «зеленої» електричної енергії, сонячні електростанції.* Вже доступна частка «зеленої» електричної енергії від відновлюваних джерел в обсязі близько 10% потреб для теплопостачання, до 2050 року можна очікувати впровадження ще щонайменше таких же обсягів – всього щонайменше до 20%. Використання теплової енергії від впровадження систем безпосереднього нагріву теплоносія в електричних котлах з акумуляційними системами забезпечить заміщення 4–6% загальних витрат палива. Використання електроенергії для живлення теплових насосів для перетворення низькопотенційної теплової енергії у високопотенційну з високим коефіцієнтом трансформації теплового потоку (COP) від 3,3 до 4 і більше забезпечить заміщення до 50–60% загальних витрат палива.

Скорочення витрат палива на теплових джерелах за рахунок підвищення коефіцієнта використання палива, заміни/реконструкції котлів, пальникових пристроїв, систем автоматики (зниження витрат палива на від 1 до 10%).

Глибока утилізація теплоти димових газів котлів з встановленням конденсаційних теплоутилізаторів забезпечить підвищення коефіцієнта використання палива і, відповідно, зниження його витрат на 8–10%.

Впровадження оперативного диспетчерського управління SCADA забезпечує зниження витрат палива на 3–5%.

З огляду на неадитивність цих ефектів, інтегральне скорочення використання палива на теплоджерелах може досягти 5–12% від обсягів його споживання, які можуть бути визначені після заміщення споживання природного газу іншими джерелами.

Загалом, за рахунок заміщення викопного палива на вуглецево-нейтральні види палив та енергії можливо досягти:

- за рахунок СЕС з акумулюванням електричної енергії забезпечити живлення теплових насосів та електродкотлів;
- за рахунок біомаси: 10–12%;
- за рахунок штучних/синтетичних газів (крім біометану): 2–4%;
- за рахунок палива з ТПВ: 10–12%;
- за рахунок електричної енергії для безпосереднього нагріву: 4–6%;
- за рахунок теплового потенціалу низькопотенційних джерел з застосуванням теплових насосів та використанням «зеленої» електроенергії: 50–60%.

Розвиток когенерації потребує збільшення використання газу, який зараз є в дефіциті.

Україна має значний потенціал виробництва біометану для заміщення природного газу, але поки мінімально доцільна ціна становить 800 \$ США за тис. м<sup>3</sup>. Тобто, навіть при ціні CO<sub>2</sub> у 100 дол. США за тонну опалення біогазом в Україні буде недоцільним. Якщо ж все таки ми будемо використовувати цей ресурс, це підвищить ціну енергоресурсу інтегрально у 2 рази, що спричинить підвищення цін на всю продукцію промисловості на 40–50%.

В старих будівлях типовим проектним рішенням є підключення до газу, тепла та електрики. В новобудовах (будинки з електроплитами) проектом передбачається підключення до теплової та електричної енергії.

В деяких проектах сучасної забудови є випадки підведення тільки електрики. Такий підхід значно зменшує надійність енергопостачання.

На майбутнє – стратегічне запитання енергопостачання: дві труби та дріт, одна труба чи дріт. І дуже схоже, що виграє дріт. Запитання: чи потрібне нам буде в майбутньому система трубопроводів централізованого теплопостачання?

На захист централізованого теплопостачання (ЦТ) слід сказати, що система трубопроводів ЦТ потрібна, якщо плануємо використання водню як палива, біометану та штучних газів, палива з ТПВ, скидної теплоти промисловості, геотермальної теплоти, теплоти зовнішніх джерел через теплові насоси, з'акумуляованої теплоти (теплові акумулятори). Також система трубопроводів необхідна, якщо ми плануємо використати влітку скидну теплоту когенерації для холодопостачання. Подача у систему ЦТ холодної води влітку можлива з градієнтом температур не більше 5 °С, так як більший градієнт забезпечує утворення конденсату на поверхні радіаторів. Ця холодна вода в будівлях може використовуватися як гаряча сторона для побутових кондиціонерів теплових насосів задля підвищення COP. При прогнозованій ціні в 2050 році на основі еволюційного розвитку існуючих технологій електрики в 10 євроцентів/кВт та біометану в 800 євро/1000 м<sup>3</sup> тепла та електрична енергія будуть близько однієї ціни за кілокалорію. Використання теплових насосів здатне змінити це співвідношення в 3–4 рази і більше та стати ще вигіднішим при впровадженні революційних засобів генерації електрики. Проведений вище огляд наводить аргументи щодо доцільності залишити в майбутньому трубопроводи системи ЦТ.

Вище ми розглянули більш-менш реальні заходи щодо виконання Україною своїх зобов'язань щодо декарбонізації до 2050 року, та показали, що це можливо, але дуже коштовно. Але війна – тригер оновлення енергосистеми. Отже, розглянемо найбільш вірогідні можливості розвитку електрогенерації на об'єктах теплопостачання.

Якщо планувати на всіх 300 великих котельнях поставити КГУ (зараз на цих котельнях виробляється біля 5 тис. Гкал/рік теплової енергії), то це усереднено 2,5 МВт на 1 котельню. З урахуванням 100 великих котелень, де можна встановити ГТУ потужністю приблизно 20 МВт, таким чином досягнуто 1,3 ГВт встановленої потужності, але додатковий газ складає майже 30% чи біля 2 млрд м<sup>3</sup>.

В Україні спостерігається дефіцит газу. Якщо його купувати за кордоном, то на це слід додатково витратити мінімум 800 млн дол. США/рік.

Заходи з впровадження розподіленої електрогенерації спрямовані, перш за все, на сприяння забезпеченню енергетичної безпеки України, економічні показники в даному випадку відходять на другий план.

*Забезпечення безпеки та надійності теплопостачання в умовах воєнного стану* шляхом впровадження розосередженої генерації електричної та теплової енергії, використання автономних джерел, зокрема пересувних блочно-модульних котелень та взаємне резервування (кільцювання) теплових джерел та мереж (будівництво/відновлення перетинок). Також доцільно залишити у використанні резервні низькоєфективні малі котельні.

Нижче розглянемо пріоритети розвитку енергетичної інфраструктури України:

1. Економіка, через енергоефективність. У цьому випадку є ресурс для покриття витрат через економію.
2. Екологія:
  - кліматична нейтральність може збігатися з задачею 1, тобто через енергоефективність можливо знизити викиди CO<sub>2</sub>;
  - зниження викидів токсичних речовин (виконання НПСВ) потребує додаткових витрат, для яких невизначені джерела фінансування.
3. Безпека:
  - будівництво та утримання резервних потужностей – низькоєфективних малих котелень;
  - взаємне резервування (кільцювання) теплових джерел та мереж (будівництво/відновлення перетинок);

- розосереджена генерація електричної та теплової енергії, пересувні котельні та когенерація на газі;
- біометан та сонячні електростанції.

Україна зараз споживає приблизно 300 млн т у. п., що забезпечує внесок у викиди CO<sub>2</sub> в світі приблизно 0,25%. В 1991 році Україна споживала тільки природного газу більше 118 млрд м<sup>3</sup>, зараз приблизно 20 млрд м<sup>3</sup>. Зниження у 6 разів, а по вугіллю ще більше. Жодна країна в світі не може показати таке зниження за цей період. Тому слід просити енергетичне товариство дати Україні можливість не приймати участь у декарбонізації поки інші країни не знизять викиди CO<sub>2</sub> принаймні у 150 разів і внесок України в залишкове формування антропогенного CO<sub>2</sub> не зросте до 12% світового. Тоді наш внесок у подальшу декарбонізацію буде помітним.

Нижче розглянемо технології, за рахунок яких можливий розвиток та формування нової декарбонізованої енергетики.

*В галузі атомної енергетики:*

- Естонія, компанія Fermi Energia, планує будівництво АЕС до 2030 року.
- Наразі 32 держави використовують атомну енергію, 24 з яких будують нові реактори. Тільки Китай запускає 76 нових атомних енергоблоків.
- В Китаї встановлений перший комерційний малий ядерний реактор Linglong-1 (СМР), вироблений у провінції Хайнань. Linglong-1 обіцяє забезпечити чистою енергією 526 тис. домогосподарств, тобто біля 1 млн людей. Він виробляє 125 МВт електроенергії, тобто 1 млрд кВт·год на рік. Зниження CO<sub>2</sub> становитиме 880 тис. т/рік.
- Франція розробила новий ядерний реактор, який використовує 100% будь яких радіоактивних відходів.
- Німеччина, компанія Proxima Fusion, розробила малий термоядерний реактор Stellaris.
- Китай створив торієвий реактор з неперервною заправкою. Він забезпечує понад 2000 домогосподарств електрикою. Китай має розвідані запаси понад мільйон тонн торію у Внутрішній Монголії, що робить Китай енергонезалежною державою.
- У місті Нака, префектура Ібараки (Японія) запустили JT-60SA експериментальний термоядерний реактор типу ТОКАМАК. Спільна розробка Японії та ЄС. Це остання перевірка перед запуском у Франції аналогічного значно більшого реактора ITER. Температура плазми у середині біля 200 млн °С.

- Фізики Лос-Анжелесу знайшли спосіб перетворення ядерних відходів на паливо для термоядерних реакторів. Це вирішує проблему дефіциту трітія.
- Крім малих ядерних реакторів Америка створила і мікрореактор. Так, компанія KALIENT створила реактор на 1 МВт KALIDOS, дуже малий та компактний, розміщується на причепі вантажівки.

*Розвиток сонячної енергетики.* Слід відмітити найбільший у світі проєкт сонячної теплоенергетики у Голмуде, провінція Цинзян (Китай) має три теплопоглинаючі башти, що стоять на геліостатному родовищі 3,3 млн м<sup>2</sup> та парову турбіну 350 МВт. Система буде щорічно виробляти біля 1 млрд кВт електрики та знизить викиди CO<sub>2</sub> на 720 тис. т/рік. Хоча в Каліфорнії будівництво сонячної башти закінчилося невдало, але досвід використання тисяч дзеркал для концентрації сонячного світла з виробленням енергії високого потенціалу був дуже корисним Китаю, хоча і коштував Америці 2,2 млрд дол.

Китай ввів в експлуатацію нову сонячну станцію в Ганьсу. 30 тис. дзеркал і башти у 200 метрів забезпечують 1,8 млрд кВт·год/рік електрики та скорочує викиди CO<sub>2</sub> на 1,5 млн т.

- Німеччина створила сонячні панелі з ККД 36%, які дешевші за існуючі.
- Корея почала виробляти прозорі сонячні панелі, таким чином кожне вікно тапер буде виробляти електрику та підігрівати само себе та приміщення.
- У Великій Британії вже планують перші системи, які до 2029 року живитимуть десятки тисяч домівок із космосу прямою сонячною енергією.

*Розвиток вітряної енергетики:*

- Італійці (GEVI Wind) розробили унікальні вітрові турбіни, що самостійно регулюють положення лопатей, що підвищує річну генерацію на 60% порівняно з традиційними вітрогенераторами. Турбіни мають висоту біля 3 м, діаметр ротора 5,4 м і практично безшумні. Одна турбіна забезпечує потужність до 50 кВт при швидкості вітру 2,5 м/с.
- Китай запустив нове джерело вітряної енергії – літаючу електростанцію на дирижаблі у Синьцзяні. Довжина апарату 60 м. Він збирає енергію висотних вітрів за допомогою 12 генераторів та одразу передає її на землю по тросу, на якому тримається. Це знижує витрату матеріалів на 40% та ціну електрики на 30%.
- Також Китайський новий спосіб виробництва енергії з вітру – величезний повітряний змій, що здіймається на 750 м та має площу

вітрила близько  $240 \text{ м}^2$  і може виробляти  $400 \text{ МВт} \cdot \text{г/рік}$ , тобто забезпечити потреби  $200\text{--}400$  домогосподарств.

*Розвиток гідроенергетики:*

- Китай почав будувати ГЕС «Медог». Це 5 каскадних ГЕС з річною генерацією  $300$  млрд кВт, що дорівнює обсягу споживання Великої Британії. Запуск планують у 2030 році.
- В Україні вже є в продажу мікро ГЕС на  $15 \text{ кВт}$  і  $380 \text{ В}$ , що працюють на перепаді всього  $3,5 \text{ м}$  і обсязі води  $600 \text{ л/с}$ , тобто це обсяг труби  $350 \text{ мм}$ . Україна – країна з великою кількістю природної води, тому таких ГЕС можна встановити тисячі. Орієнтовна вартість такої ГЕС – до  $20$  тис. дол. США.
- Австралійські вчені з університету Аделаїди створили пристрій, що працює на сонячній енергії та здатен легко розділяти морську воду з отриманням водню, таким чином надаючи доступ до фактично безмежного енергоресурсу.
- Японія запустила першу в Азії осмотичну електростанцію, яка виробляє електрику за рахунок змішування морської та прісної води.
- В Ісландії в основі водоспадів встановлюють спіральні турбіни, що перетворюють потік води у електрику та виробляють електрику без інших будівельних конструкцій. Вони нешкідливі для риби.
- Канада, компанія VOLTAI, створила компактні генератори, що перетворюють енергію хвиль в електрику. Це може відбуватися навіть на борту судна.

*Можливості акумуляції та збереження енергії:*

- ЕДС України буде батарею ємністю  $100 \text{ МВт} \cdot \text{год}$  та  $50 \text{ МВт}$  встановленої потужності.
- Вчені Масачузетського технологічного інституту розробили технологію бетонних батарей, здатну перетворити будівлі на гігантські акумулятори. Це електропровідний бетон ЕСЗ, який може накопичувати та віддавати електроенергію. Для потреб звичайного домогосподарства досить мати лише  $5 \text{ м}^3$  такого бетону (приблизно одна стіна).  $1 \text{ м}^3$  бетону здатний зберігати понад  $2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  електрики.
- Китай разом з Сінгапуром створив органічний акумулятор. Він розрахований на  $40$  тис. циклів, та навіть після цього тримає понад  $93\%$  ємності, а також легко перероблюється.
- У Південній Кореї тестують новий накопичувач енергії на основі рідкого повітря. Вже досягли обсягів у  $10 \text{ т}$  рідкого повітря за добу.
- Данія в місті Естєрге запустила збереження енергії на основі розплавленої гідроксидної солі. Це дозволяє зберігати енергію

сонця і вітру з коефіцієнтом ефективності до 90%. Планується будівництво системи на 1 ГВт·год, це може забезпечити біля 100 домогосподарств протягом 10 годин.

- Німеччина презентувала соляно-повітряну батарею, яка може служити десятиліттями для збереження відновлювальної енергії.
- Японія виробила перший наногенератор електрики з атмосферної вологи розміром зі сірникову коробку. Пристрій може на постійній основі живити телефони та комп'ютери, а в майбутньому підігрівати стіни будівель.
- Отримане нове рідке паливо, ідентичне бензину, компонентами якого є  $\text{CO}_2$  з повітря та водень, а також вода. Тож, вуглецево нейтральні бензинові мотори можуть повернутися.
- Британці почали опалювати квартири міні датацентрами. Т.з. HeatHub центри виконують хмарні завдання та опалюють площу біля 20 м<sup>2</sup> за 7 дол. США на місяць (біля 150 грн місяць).
- Данія протестувала тепловий акумулятор на сольових розчинах, здатний утримувати енергію до 14 днів. Ці солі переробляються з промислових відходів, вони дешеві, їх багато та вони не токсичні. Таке рішення здатне знижувати викиди  $\text{CO}_2$  на 15%.
- В США вводять цьогоріч 64 ГВт нової відновлювальної генерації. В основному для покриття потреб датацентрів. З них 20 ГВт накопичувачі.
- В Китаї розробили та вже втілюють технологію, згідно якої при стрибках попиту мережа може споживати зелену енергію, якою заправляються авто як демпфер для запобігання використанню у піки вкопного палива (V2G (Vehicle to-Grid)). Приблизно 30 електричних авто можуть надати в мережу 1200 кВт·год електрики.
- Також маємо технологічний прорив в бездротовому передаванні електрики. США (DARPA) вдалося передати 1,6 кВт потужності бездротово на 1 милю. Наступна їх програма 5 миль, а далі великі бездротові системи від джерел до споживача. Японія пішла далі і вже в цьому році передала сонячну енергію з космосу безпосередньо на землю. Супутник на орбіті масою 180 кг передає мікрохвилями 1 кВт на приймачі на Землі. Таким чином, космічна енергія стає частиною нашого енергокомплексу.

*Розвиток нової енергетики також можливий на базі штучних газів та водню, тим більш, що під земною корою вчені винайшли великі поклади водню, трильони тонн «золотого водню». Доступ до цих*

покладів був би здатним забезпечити людство чистою енергією на наступні тисячу років.

- Україна представила план виробництва 20 млрд м<sup>3</sup> біометану. Цього досить для повного опалення та електроживлення наших будинків.
- Наразі Данія забезпечила енергопотреби більш ніж на 40% біометаном.
- Норвегія створила самодостатні теплиці в яких вирощується риба, їжа та виробляється енергія одночасно.
- Норвегія вирощує в морі ламінарію, що поглинає CO<sub>2</sub> та є біопаливом.

Як показав огляд новітніх технологій, ми не можемо однозначно визначитися, яка саме з них буде домінуючою і дозволить нам прийти до повної декарбонізації у 2050 році. Тому поки доцільно залишити підключення споживача як до дроту, так і до труби. Вище ми розглядали доступ до енергії з позицій забезпечення енерго- та теплопостачання, але зміна клімату потребує збільшення енергії на охолодження на 12%, що потребує біля 43 млрд євро на рік. Заміщення викопного палива іде темпом 5–8% на рік. Тож глобальна тенденція негативна і проблема залишається.

УДК 697.34

**О. І. Сігал, Д. Ю. Падерно**

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

## **ВИМУШЕНА ЗМІНА ПРІОРИТЕТІВ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТ УКРАЇНИ**

Традиційно в основу концептуальних напрямків розвитку систем централізованого теплопостачання міст України, які знаходять відображення в розроблених схемах теплопостачання міст, покладалась критерії енергетичної, економічної та екологічної ефективності забезпечення споживачів тепловою енергією.

В умовах повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України та спричинених нею значних руйнувань енергетичної

інфраструктури, першочерговим завданням стає забезпечення здатності та надійності задовільнення потреб споживачів в електричній та теплової енергії (енергетична безпека).

На цей час енергетичний сектор став однією з головних цілей агресора у зв'язку зі стратегічним значенням для економіки і життєзабезпечення населення.

Функціонування систем централізованого теплопостачання міст України потребує наявності надійного електрозабезпечення.

Об'єднана енергетична система України будувалась як централізована з великими вузловими електростанціями, що є економічно доцільним, однак така побудова виявилась суттєво вразливою в умовах повномасштабної збройної агресії проти нашої країни.

Цілеспрямовані обстріли критичної енергетичної інфраструктури призвели до пошкоджень та втрати більшості потужностей тепло- та гідрогенерації. Так, доступна на цей час потужність теплоелектростанцій і теплоелектроцентралей становить менш ніж 20 відсотків їх потужності до початку повномасштабної збройної агресії проти України.

Недостатність генеруючих потужностей внаслідок руйнування енергетичної інфраструктури державою-агресором обумовила необхідність перегляду планів розвитку енергетичного сектору України.

Одним з найбільш ефективних способів розв'язання проблеми недостатності генеруючих потужностей в енергетичній системі України в мінімальні строки, та запобігання критичному впливу руйнування потужних об'єктів генерації, є будівництво та введення в експлуатацію у стислі строки нових відносно невеликих генеруючих потужностей — розподіленої генерації. Основною перевагою розподіленої генерації є будівництво та/або розміщення нових генеруючих потужностей на великій кількості майданчиків, які підключаються до розподільних мереж та є наближеними до споживача. При цьому ураження великої кількості відносно малопотужних об'єктів генерації є значно складнішим завданням, ніж знищення відносно обмеженої кількості теплових електростанцій та гідроелектростанцій значної потужності, що значно знизить вразливість енергетичної системи України.

Важливість та напрямки розвитку розподіленої генерації в Україні відображені у новій «Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року», схваленій розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 липня 2024 р. № 713-р<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhvalennia-stratehii-rozvytku-rozpodilenoj-heneratsii-na-period-do-2035-roku-i-zatverdzhennia-s713180724>

Метою цієї Стратегії є посилення стійкості об'єднаної енергетичної системи України в умовах триваючої воєнної агресії, усунення недостатності генеруючих потужностей, виконання вимог щодо забезпечення безпеки постачання електричної енергії споживачам та операційної безпеки шляхом створення сприятливих умов для забезпечення розвитку розподіленої генерації.

Основними видами об'єктів електроенергетики, використання яких є доцільним для створення систем розподіленої генерації та розв'язання проблеми недостатності генеруючих потужностей в об'єднаній енергетичній системі України, є установки, які забезпечують гарантовану видачу доступної потужності та використовують природний газ як паливо, а також в умовах можливого дефіциту природного газу все більш суттєвого значення набувають об'єкти відновлюваної енергетики та установки зберігання енергії.

До об'єктів, які забезпечують гарантовану видачу доступної потужності та використовують природний газ як паливо, належать зокрема когенераційні станції на базі газотурбінних установок та/або газопоршневих машин, призначені для комбінованого виробництва електричної та теплової енергії. До того ж значна частина сучасних моделей газопоршневих та газотурбінних когенераційних установок дозволяють використання відновлюваних газів, зокрема біометану, біогазу, воденьмістких газів тощо, як палива замість природного газу, що надає змогу зменшити залежність від природного газу та сприятиме загальній декарбонізації енергосистеми.

Найреальнішим енергобезпековим рішенням є створення децентралізованих систем енергозабезпечення згідно з протокольним дорученням Офісу Президента України від 04.02.2025 р. № 41-01/460 «Активізувати реалізацію заходів з формування в територіальних громадах децентралізованих систем енергозабезпечення, упровадження сучасних енергоефективних технологій і відновлюваної енергетики в різних секторах регіональної економіки», зокрема впровадження розподіленої когенерації, перехід від газових котелень до ТЕЦ та створення незалежних «енергетичних островів», поєднаних резервними зв'язками в єдину енергетичну систему міста.

Базовим елементом такого комплексного технологічного рішення має бути впровадження когенерації на газових турбінах та газопоршневих агрегатах, що відповідатиме основним вимогам – гнучкості, мобільності, автономності, стійкості та надійності роботи енергосистеми міста, включаючи як електро-, так і теплопостачання.

Гнучкість забезпечуватиметься здатністю газових турбін та газопоршневих агрегатів працювати в режимі потрібної потужності – від часткової на рівні від 50% номінальної потужності, до максимальної, що дозволяє їм легко адаптуватися до зміни попиту на енергію.

Мобільність забезпечуватиметься здатністю швидкого запуску (2–5 хвилин до максимальної потужності) таких агрегатів, що дозволяє їм швидко реагувати на зміни в електричній мережі, зокрема зупинення енергопостачання від загальної мережі.

Автономність досягатиметься здатністю таких агрегатів працювати та забезпечувати потреби своїх споживачів як в електричній, так і в тепловій енергії незалежно від загальної мережі, зокрема зі створенням незалежних «енергетичних островів».

Стійкість та надійність функціонування досягатимуться за рахунок як децентралізації джерел генерації електричної та теплової енергії, так і відносно невеликих габаритів та ваги таких агрегатів, що робить їх зручними для встановлення та експлуатації, зокрема в захисних спорудах зі зменшеною вразливістю до негативних зовнішніх впливів, а також за рахунок зменшеної вразливості до відмов та поломок внаслідок відносно простої конструкції та меншої кількості деталей та механізмів.

Особливий акцент має бути зроблений на поділенні міста на автономні з точки зору енергозабезпечення зони – створенні в місті декількох незалежних «енергетичних островів» на базі в першу чергу ТЕЦ, станцій тепlopостачання та потужних районних котельень (з перетворенням їх у ТЕЦ та міні-ТЕЦ), з можливістю роботи як в загальній енергосистемі, так і за потреби повністю автономно. Задля підвищення стійкості, надійності роботи та енергетичної безпеки таких «островів» та системи централізованого тепlopостачання міста в цілому, потрібно передбачити відновлення існуючих та будівництво нових перемичок між усіма теплоджерелами в межах кожного такого «острову», а також між тепломережами таких «островів», з максимально доцільним об'єднанням їх у єдину енергетичну систему міста, та з можливістю резервування суміжних зон при виникненні аварійних ситуацій.

В той же час, передбачається забезпечити можливості перекриття перемичок між «островами» шляхом відновлення/встановлення відповідної запірної арматури, для забезпечення можливості роботи теплогенеруючого обладнання цих «островів» у автономному режимі.

Основою кожного такого «острова» має бути потужне джерело генерації електричної та теплової енергії – існуюча ТЕЦ, перетворені у

ТЕЦ та міні-ТЕЦ станції теплопостачання та потужні районні котельні, із забезпеченням в межах цього «острова» резервування електропостачання за допомогою створення міні-ТЕЦ на базі однієї або бажано декількох котелень меншої потужності, та теплопостачання від котелень, що заживлені електроенергією від цих ТЕЦ.

Можливість енергопостачання кожного з об'єктів критичної інфраструктури міста має бути забезпечена від щонайменше одного такого енергетичного острова.

Території надання послуг з теплопостачання в межах запропонованих «островів» можуть не завжди співпадати з зонами обслуговування теплових джерел, які включені до цих «островів», а бути більш прив'язані саме до територіального признаку. Це зумовлено зокрема тим, що транспортування теплоносія на велику відстань від теплоджерела під потрібним тиском зазвичай потребує використання додаткових підкачувальних насосних станцій, які розташовані за межами «островів», де у разі автономного функціонування обладнання «острова» може бути відсутня електроенергія. В такому разі транспортування теплоносія споживачам всієї існуючої зони обслуговування теплоджерела може бути неможливим.

При цьому основним критерієм передбачається саме безпека теплопостачання, з позиції забезпечення можливості подачі теплової енергії в обсягах щонайменше для запобігання випадкам аварійних ситуацій за екстремально низьких температур навколишнього середовища у разі автономного функціонування «острова», навіть при недостатній тепловій потужності теплоджерел в межах «острова» для забезпечення мінімального нормативного рівня температур у опалюваних будівлях.

З огляду на існуючі ризики, виклики і загрози, зокрема в місті Києві вже розроблена та прийнята «Концепція відновлення та підвищення енергетичної стійкості міста Києва (Розподілена когенерація)», схвалена рішенням Київської міської ради від 16 травня 2024 р. № 461/8427, яка спрямована на забезпечення стійкості, надійності та автономності систем енергопостачання м. Києва в сучасних умовах.

Аналогічні підходи та заходи доцільно розробляти та впроваджувати і в інших містах України.

**Ю. Ф. Снежкін, Т. В. Корінчевська,  
В. М. Пазюк, В. А. Михайлик**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **АЛЬТЕРНАТИВНЕ ТВЕРДЕ ПАЛИВО З ВІДХОДІВ**

Одним з шляхів вирішення проблеми накопичення твердих побутових відходів (ТПВ) є використання їх як палива [1], що сприятиме вирішенню нагальної проблеми заміщення традиційних викопних палив альтернативними і відновлюваними. За умов воєнного стану ця проблема набуває особливої актуальності. Створення палива на основі відходів, зокрема твердих побутових та сільськогосподарських, є перспективним напрямком виробництва альтернативного палива, що забезпечить ефективну утилізацію відходів із різних галузей та сприятиме зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

З метою пошуку раціонального складу альтернативного твердого композитного палива для спалювання в енергоустановках та енерго-ефективної технології його виготовлення було досліджено ряд експериментальних палив. Варіювання їхнім складом дозволило оцінити потенціал щодо виробництва композитного палива високої якості. Дослідження та виявлення факторів впливу на процеси підготовки сировини та сушіння дозволить підвищити якість палива та забезпечити сталий цілорічний цикл виробництва.

Методами термогравиметрії та диференційного термічного аналізу досліджені горючі складові твердих побутових відходів (картон, поліетиленова плівка, текстиль), сільськогосподарські відходи (пожнивні рештки кукурудзи та соняшника), торф та ряд експериментальних композитних палив на їх основі. Експериментальні палива можна умовно поділено на чотири групи за вмістом окремих складових. Для всіх палив характерна наявність в своєму складі твердих побутових відходів – поліетиленової плівки, картону та тканини. В першій групі палив до ТПВ додані рештки кукурудзи, в другій – рештки соняшника, в третій – рештки кукурудзи та соняшника, в четвертій – торф. В ході досліджень отримані профілі температури зразків палив (Т), їх маси (TG), швидкості зміни маси (DTG) та генерації теплоти (DTA) в процесі нагрівання від кімнатної температури до 1000 °С.

Як приклад на рис. 1 представлено дериватограму, яка відображає процес термічного розкладання зразка палива складу: 25% картону, 15% тканини, 40% поліетиленової плівки та 20% поживних решток кукурудзи.

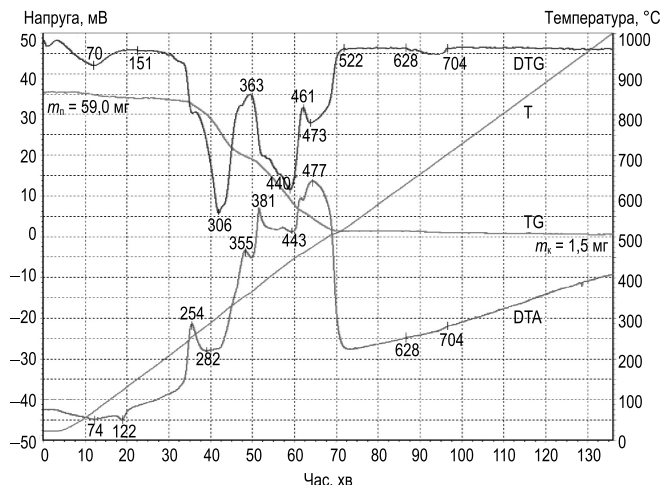


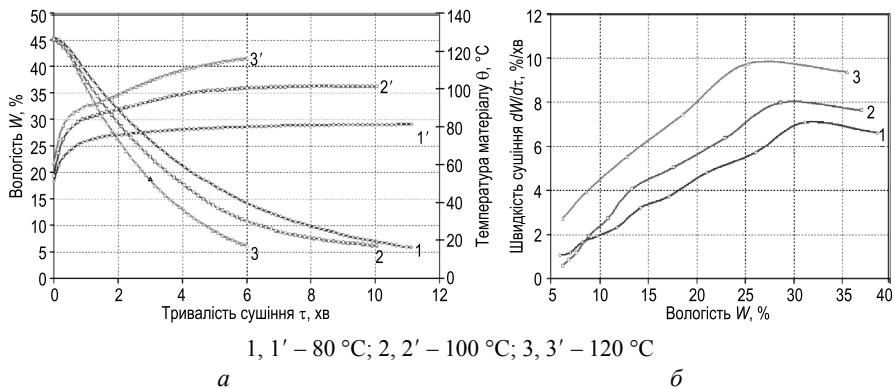
Рис. 1. Дериватограма експериментального палива.

В інтервалі від 22 до 151 °С видаляється вода, вміст якої становить 4,07%. Через багатокomпонентність палива термічне розкладання органічних речовин відбувається у три стадії, які відрізняються швидкістю розкладання та величиною теплових ефектів. На першій стадії (151–363 °С) розкладається 45,47% СМ (сухого матеріалу) зі швидкістю 1,59% СМ/хв. На другій стадії (363–461 °С) через високий вміст поліетиленової плівки інтенсивність розкладання зростає, на третій (461–522 °С) – знижується. Подальше зростання температури викликає дисоціацію мінеральних речовин палива. Його нижча теплота згорання визначена на рівні 26,89 МДж/кг при зольності 2,65% СМ.

Аналіз отриманих результатів досліджень усіх зразків експериментальних палив дозволив визначити зміну їх термічних характеристик при варіюванні складом: вологість – в межах 3,17–7,67%; вміст органічних речовин – від 90,61 до 95,68% СМ; вміст мінеральних речовин, які дисоціюють – 0,35–3,72% СМ; зольність – від 2,65 до 6,50% СМ; середня швидкість розкладання в межах 1,79–1,98% СМ/хв; нижча теплота згорання – від 22,64 до 26,92 МДж/кг.

Термічне розкладання органічних речовин в горючих компонентах та композитному паливі характеризується стабільним характером. Найявність 30–40% поліетилену в складі палива забезпечує більшу інтенсивність розкладання в другій високотемпературній стадії. Встановлено, що високий вміст поліетилену зумовлює не тільки високу теплотворну здатність палива, а й інтенсивне виділення летких продуктів розкладання, що покращує кінетику горіння. Варіювання вмістом біомаси у паливі в межах 10–40% не викликає значних відмінностей у характері термічного розкладання.

Проведено аналіз кінетики сушіння експериментального зразка. Збір та обробку результатів здійснювали методом безперервного вимірювання та реєстрації параметрів сушіння. Всі розрахунки виконували за допомогою розробленої прикладної комп'ютерної програми. На рис. 2 і 3 представлені результати розрахунків для зразка, склад якого наведений вище. Зразки розміщували на тримач в сушильній камері шаром товщиною 7 мм. Температуру теплоносія змінювали дискретно (80, 100 та 120 °C) при постійній швидкості 2,5 м/с та вологовмісту 10 г/кг с. п.



**Рис. 2.** Вплив температури теплоносія на тривалість (а) та швидкість (б) сушіння.

Вологість зразка палива (рис. 2, а) розраховували за формулою:

$$W(\tau) = \frac{G(\tau) - G_{a.c}}{G(\tau)} \cdot 100\%,$$

де  $G(\tau)$  – маса зразка палива, г;  $G_{a.c}$  – абсолютно суха маса зразка, г;  $\tau$  – тривалість сушіння, хв.

Швидкість сушіння (рис. 2, б) визначали відповідно:

$$N = \frac{dW}{d\tau}.$$

Тепловий потік на поверхню зразка (рис. 3, а) розраховували за співвідношенням:

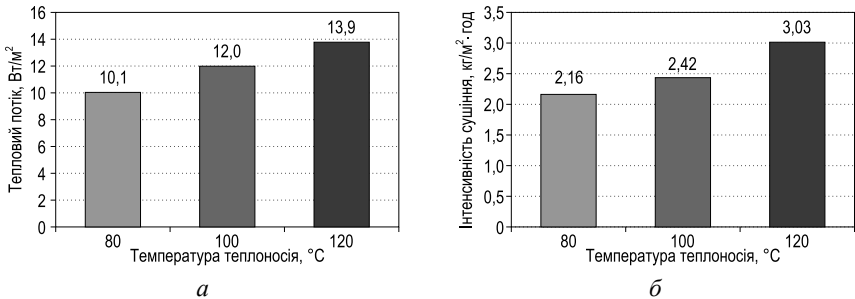
$$q(\tau) = rg(dU/d\tau)(1 + Rb),$$

де  $g = G_{a,c}/S_{вл}$  – відношення маси абсолютно сухого тіла до поверхні зразка,  $Rb = c \cdot b/r$  – критерій Ребіндера;  $c$  – питома теплоємність зразка, кДж/(кг·К);  $R$  – питома теплота випаровування, кДж/кг;  $b = \partial\theta/\partial U$  – температурний коефіцієнт;  $U = W/(100 - W)$  – вологовміст зразка, %.

Інтенсивність сушіння (рис. 3, б) визначали за формулою:

$$J = ((G_{п} - G_{к}) \cdot 60)/S,$$

де  $(G_{п} - G_{к})$  – загальна кількість видаленої вологи за хвилину, кг/хв.



**Рис. 3.** Вплив температури теплоносія на зміну теплового потоку (а) та інтенсивність сушіння (б).

Встановлено, що підвищення температури сушильного агенту від 80 до 120 °С призводить до зростання швидкості сушіння до 10%/хв, теплового потоку до 13,9 Вт/м², інтенсивності сушіння до 3,03 кг випареної вологи з м² за год. В результаті тривалість сушіння зменшується в 1,83 рази.

В результаті проведених досліджень розроблена технологія виробництва композитного палива на основі горючих компонентів твердих побутових відходів та біомаси, яка забезпечує ефективну їх утилізацію, часткове заміщення викопних палив та покращує стан навколишнього середовища. За основу прийнято технологію виробництва RDF [2]. Тех-

нологія включає послідовність наступних етапів: приймання та сортування ТПВ та біомаси; подрібнення; сушіння; повторне подрібнення.

### **Список використаної літератури**

1. Characterization of municipal solid waste and assessment of its potential for refuse-derived fuel (RDF) valorization / K. Sarquah et al. // Energies. 2022. Vol. 16, no. 1. P. 200. URL : <https://doi.org/10.3390/en16010200>.

2. Shukla P., Srivastava R. K. Comparative study of coal and refuse derived fuel – produced from municipal solid waste in Rewa city (M.P.) // International journal of innovative research in technology. 2022. Vol. 9, no. 4. P. 745–751. URL : [https://ijirt.org/publishedpaper/IJIRT156793\\_PAPER.pdf](https://ijirt.org/publishedpaper/IJIRT156793_PAPER.pdf).

УДК 504.7:662.767.2

**І. В. Сатін, Д. В. Куций**

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

## **ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ З МІСЦЬ ВИДАЛЕННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ТА ЗАХОДИ ЩОДО ЇХ СКОРОЧЕННЯ**

В Україні за 2021 р. було зібрано 10 466,3 тис. т побутових відходів (ПВ), з яких 9 434,9 тис. т (90,1%) потрапили на полігони та звалища, 776,1 тис. т (7,4%) – на сміттєпереробні підприємства, 135,6 тис. т (1,3%) – на заготівельні пункти вторинної сировини, 110,9 тис. т (1,1%) – на сміттєспалювальні заводи (м. Київ) та 8,8 тис. т (0,1%) – на ділянки компостування [1].

Продовження практики захоронення ПВ на полігонах та звалищах призводить до зростаючого навантаження на довкілля за рахунок утворення емісій метану, які спричиняють зміну клімату. Емісії метану від захоронення ПВ оцінювались в різні періоди з використанням як спрощених, так й більш складних методик. Зокрема, за спрощеною оцінкою [2] загальні емісії метану від захоронення ПВ в перерахунку з біогазу (при густині метану  $0,7168 \text{ кг/Нм}^3$  та вмісті 50%) можуть становити 405,0 тис. т, що еквівалентно (при потенціалі потепління

25 т CO<sub>2</sub>/тCH<sub>4</sub>) 10 124,8 тис. т CO<sub>2</sub>. Згідно з оцінкою енергетичного потенціалу біогазу із полігонів ПВ [3], виконаною на основі спрощеної методики Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК), теоретичні емісії метану від захоронення ПВ можуть складати 452,0 тис. т, що еквівалентно 11 299,7 тис. т CO<sub>2</sub>. Авторами [4] на основі методики МГЕЗК з уточненими коефіцієнтами розраховано, що емісії метану від захоронення ПВ можуть становити 272,8 тис. т, що еквівалентно 6 820,0 тис. т CO<sub>2</sub>.

В свою чергу, результати офіційної інвентаризації парникових газів (ПГ) в Україні [5], які виконані за методикою МГЕЗК, показують, що емісії метану від захоронення ПВ за останні три десятиліття мають тенденцію до зростання в середньому на 0,9% за рік. В 2021 р. вони могли становити загалом 346,7 тис. т, що еквівалентно біля 8 688,2 тис. т CO<sub>2</sub>. Однак, починаючи з 2009 р. в Україні розвиваються системи збирання та утилізації біогазу [2, 6–9]. Наразі вони введені в експлуатацію на 27 [10] та будуються на 2 полігонах та звалищах. З урахуванням частки метану, утилізованого за рахунок діючих систем збирання та утилізації біогазу, його фактичні емісії в Україні за 2021 р. становили 307,9 тис. т (88,8% від загальних емісій метану), що еквівалентно 7 669,7 тис. т CO<sub>2</sub> [5].

Таким чином, метою даної роботи був розрахунок емісій метану та ПГ від захоронення ПВ на визначених класах полігонів та звалищ з урахуванням їх специфічних характеристик на основі Української моделі газоутворення, а також розробка заходів щодо скорочення таких емісій. Для цього застосовувались статистичні обсяги захоронення відходів [1], які також використані для інвентаризації ПГ [5], та проводився детальний аналіз даних щодо полігонів та звалищ, їх класифікація і оцінка технічної оснащеності.

За результатами досліджень визначено, що загальні емісії ПГ з усіх класів полігонів та звалищ України становлять 5 833,5 тис. т CO<sub>2</sub>, з яких 75,2 тис. т CO<sub>2</sub> (1,3%) утворюються на малих, 935,4 тис. т CO<sub>2</sub> (16,0%) – на середніх і 4 822,9 тис. т CO<sub>2</sub> (82,7%) – на великих полігонах та звалища (рис. 1). Розподіл емісій ПГ між класами полігонів та звалищ корелюється з кількістю відходів, які накопичені в їх межах. Емісії ПГ з малих полігонів та звалищ ПВ досить незначні. Це дозволяє нехтувати ними в майбутніх дослідженнях емісії ПГ від полігонів та звалищ України.

В ході порівняння результатів цих досліджень з даними інвентаризації ПГ в Україні [5], оцінено, що отримані загальні емісії ПГ на 32,9% нижчі. При відносно однакових вхідних даних різних методик до-

сліджень, отримана різниця пояснюється вищою точністю Української моделі газоутворення і її параметрів порівняно з методикою МГЕЗК.

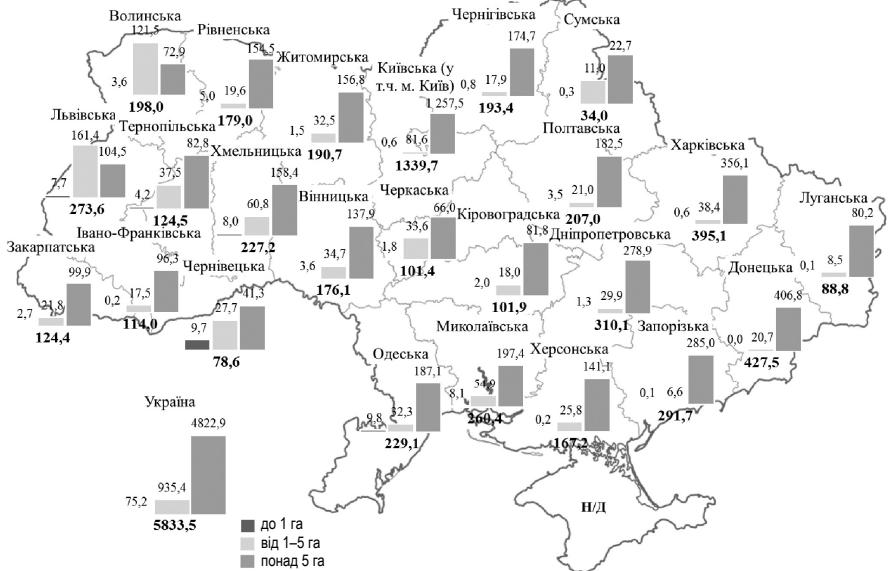


Рис. 1. Загальні емісії ПГ з полігонів та звалищ по областях України в 2021 р., тис. т CO<sub>2</sub>.

Найбільші емісії ПГ від великих полігонів та звалищ мають місце в Донецькій, Київській та Харківській областях, тобто в областях з найбільшими міськими агломераціями України, де накопичена найбільша кількість ПВ на полігонах та звалищах цього класу. Найбільші емісії ПГ від середніх полігонів та звалищ мають місце у Львівській області, де в 2016 році припинив експлуатацію найбільший полігон або звалище регіону і основна маса ПВ стала потрапляти на середні полігони та звалища. Найбільші емісії ПГ від малих полігонів та звалищ відмічені в Одеській та Чернівецькій областях, де експлуатується значна кількість об'єктів цього класу, в межах яких накопичена значна кількість ПВ.

В свою чергу, потенціал скорочення емісій ПГ визначено для двох варіантів сукупних заходів: 1) збирання та спалювання біогазу на рекультивованих середніх і збирання та утилізація біогазу на діючих великих полігонах та звалищах, а також: 2) збирання та спалювання біогазу на рекультивованих середніх і збирання та утилізація біогазу

на рекультивованих великих полігонах та звалищах. Отримані результати додатково порівнювались із фактичним скороченням емісій ПГ, які досягались системами збирання біогазу, що експлуатувалися в 2021 р. [10].

За першим варіантом сукупних заходів, потенціал скорочення емісій ПГ може досягати до 41% від загальних емісій ПГ з полігонів та звалищ України (рис. 2). За рахунок діючих систем збирання біогазу фактичне скорочення емісій ПГ наразі складає близько 10% від загальних емісій ПГ з полігонів та звалищ України, що підтверджується даними [5]. При цьому, фактичне скорочення емісій ПГ в чотири рази менше від їх потенціалу. Пояснюється це тим, що в Волинській, Дніпропетровській, Житомирській, Кіровоградській, Миколаївській, Полтавській, Черкаській та Чернівецькій областях у 2021 р. працювали не всі або не працювали взагалі збудовані системи збирання біогазу. Відновлення роботи непрацюючих систем призведе до збільшення фактичного скорочення емісій ПГ. Їх подальше збільшення до рівня потенціалу скорочення емісій ПГ можливе за рахунок будівництва нових систем збирання біогазу, які наразі споруджуються у Львівській (с. Збиранка) та Харківській (м. Дергачі) областях.

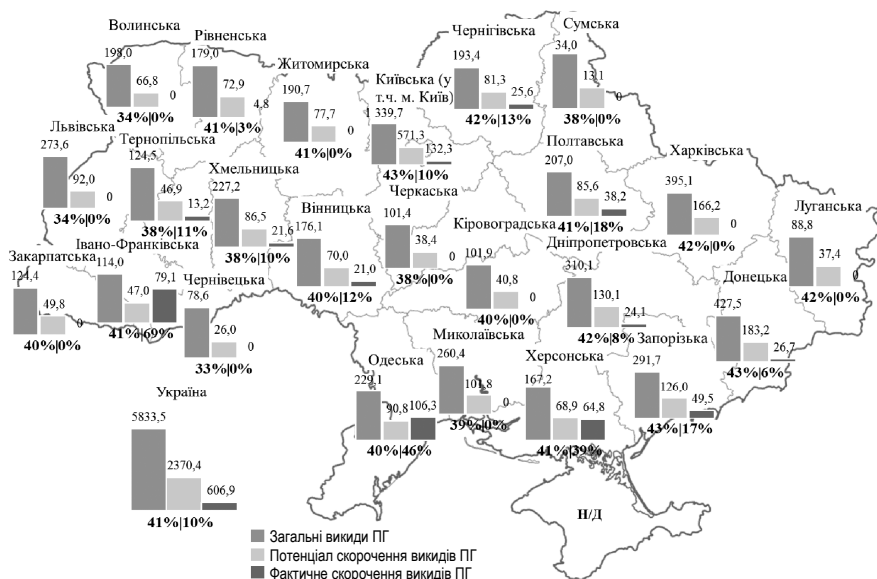


Рис. 2. Скорочення емісій ПГ на рекультивованих середніх і діючих великих полігонах та звалищах по областях України в 2021 р., тис. т CO<sub>2</sub>.

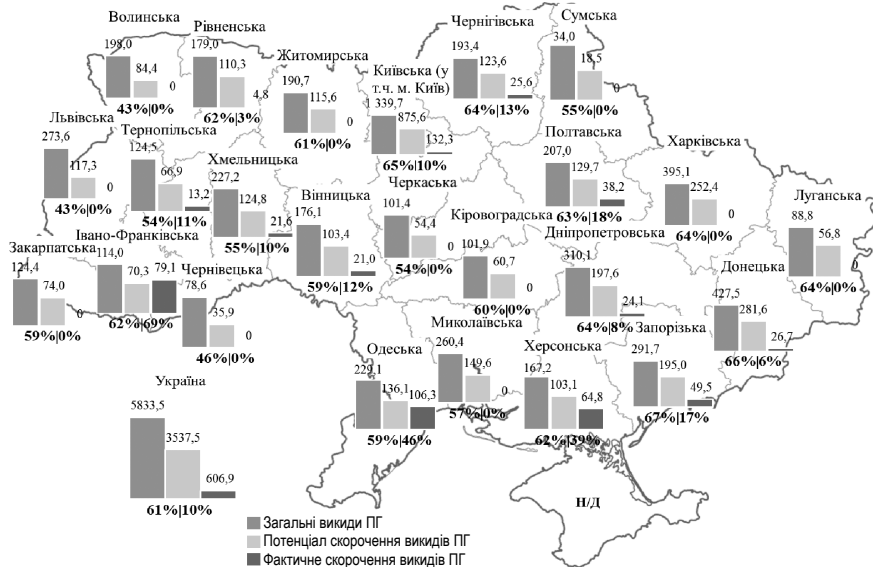
Найбільшим потенціалом скорочення емісій ПГ володіють Донецька, Київська та Харківська області, тобто області з найбільшими емісіями ПГ з великих полігонів та звалищ. При цьому, у Івано-Франківській, Одеській та Херсонській областях потенціал скорочення викидів ПГ виглядає вичерпаним через значні фактичні скорочення емісій ПГ. Пояснюватись це може як завищеними даними щодо виробленої електроенергії [10], так і заниженими даними щодо кількості ПВ, які захоронувались на полігонах та звалищах цих областей [1].

Найменшим потенціалом скорочення емісій ПГ володіє Сумська та Чернівецька області, де досить повільно розвивається сфера управління ПВ, а їх загальне накопичення на полігонах та звалищах є найменшим в Україні.

За другим варіантом сукупних заходів, потенціал скорочення емісій ПГ може досягати до 61% від загальних емісій ПГ з полігонів та звалищ України (рис. 3). В цьому варіанті, фактичні скорочення емісій ПГ, які досягаються за рахунок діючих систем збирання біогазу, майже в шість разів нижчі їх потенціалу. Збільшення різниці між потенціалом і фактичним скороченням емісій ПГ пояснюється впливом рекультивації великих полігонів та звалищ, яка призводить до вагомого підвищення кількості збирання біогазу, що визначальним чином впливають на потенціал скорочення емісій ПГ від полігонів та звалищ України.

Таким чином, найбільші емісії ПГ та один із найбільших потенціалів скорочення емісій ПГ наявний в областях (Донецькій, Київській та Харківській) з найбільшими міськими агломераціями України, де накопичена найбільша кількість ПВ на великих полігонах та звалищах. Рекультивація цих полігонів значно впливає на потенціал скорочення емісій ПГ. Тому, дані області з точки зору скорочення емісій ПГ визначені найбільш пріоритетними щодо запровадження або розширення систем збирання біогазу і рекультивації полігонів та звалищ.

Найменші емісії ПГ та один із найменших потенціалів скорочення емісій ПГ характерний малим областям з повільним розвитком сфери управління ПВ (Сумська, Чернівецька). Крім того, в цих областях наявна відносно велика частка малих та середніх полігонів, дегазація яких не може бути практично здійснена або має низьку ефективність, що призводить до зменшення потенціалу скорочення емісій ПГ порівняно з рештою областей України. Ці області з точки зору скорочення емісій ПГ визначені найменш пріоритетними щодо запровадження або розширення систем збирання біогазу.



**Рис. 3.** Скорочення емісій ПГ на рекультивованих середніх і великих полігонах та звалищах по областях України в 2021 р., тис. т CO<sub>2</sub>.

Наявні системи збирання біогазу, які реалізовані переважно на великих полігонах та звалищах, забезпечують фактичні скорочення емісій ПГ біля 10%, що є недостатнім з точки зору ефективного зменшення їх впливу на довкілля та зміну клімату. Зберігається значний залишковий потенціал скорочення емісій ПГ, який може досягати від 40% до 60% загальних емісій ПГ. Для його реалізації доцільно продовжувати розвивати систем збирання біогазу та підвищувати їх ефективність.

Першочергово, рекомендується розбудова існуючих або впровадження нових систем збирання біогазу на великих полігонах та звалищах, що може збільшити скорочення викидів ПГ до чотирьох разів від сьогоденного рівня поточних викидів ПГ. В подальшому або одночасно, доцільно підвищувати ефективність споруджених систем збирання біогазу шляхом рекультивації великих полігонів та звалищ. Ці заходи довозлять потенційно збільшити фактичні скорочення викидів ПГ до шести разів (вполовину від рівня попереднього збільшення). Але вони є більш технічно складними і дорогими, що понижує черговість їх застосування і потребує подальших досліджень обґрунтування їх впровадження.

Стосовно середніх і малих полігонів та звалищ, вони характеризуються незначними емісіями ПГ порівняно з великими полігонами та звалищами. При цьому, середні і малі полігони та звалища мають обмежені або взагалі не мають технічних можливостей для збирання біогазу. Для переважної більшості з них рекомендується рекультивация з використанням ґрунтової засипки або санація їх території з сортуванням та вивезенням залишків ПВ на великі (регіональні) полігони.

### Список використаної літератури

1. Мінрегіон (2022). Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2021 рік. Retrieved from <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sferypovodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2021-rik/>.
2. Юрченко А. А., Кулікова Д. В., Дмітрук Є. О., Чеберячко Л. Н., Безп'ятий І. Н. Утилізація біогазу полігонів твердих побутових відходів // Збірник наукових праць НГУ. 2019. № 57. С. 192–202.
3. Гелетуха Г. Г. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи. Київ : Академперіодика, 2022. 373 с.
4. Шмарін С. Л., Слівінська В. В., Ремез Н. С., Філософ Р. С., Нахшина А. Д., Михайленко В. П. Вплив кліматичних факторів на оцінку викидів парникових газів з місць захоронення твердих побутових відходів в Україні // Фізична географія та геоморфологія. 2014. № 2(74). С. 133–140.
5. UNFCCC (2023). Ukraine's Greenhouse Gas Inventory 1990–2021. Annual National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Retrieved from <https://unfccc.int/documents/628276>.
6. Степаненко Д. С., Проскурня Т. О. Добування та утилізація біогазу з відходів // Праці ТДАТУ. 2009. № 9(5). С. 134–143.
7. Жук Г. В., Пятничко О. І., Баннов В. Є. Системи збору та утилізації біогазу полігонів твердих побутових відходів // Технічні гази. 2012. № 3. С. 65–68.
8. Мазур К. В., Гонгарук Я. В. Перспективи виробництва біогазу з відходів підприємств та домогосподарств на полігонах твердих побутових відходів // Східна Європа: економіка, бізнес та управління. 2022. № 2(35). С. 63–71.
9. Тітова А. О. Утилізація біогазу з полігону побутових відходів як елемент еколого-енергетичної безпеки // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2023. № 1(138). С. 41–47.
10. НКРЕКП (2022). Інформація про об'єкти альтернативної енергетики (станом на 01.01.2022). Retrieved from <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/energetichni-pidpriyemstva>.

## **ПІКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ І ТРАДИЦІЙНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ЇХ ПОКРИТТЯ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ УКРАЇНИ**

Стан енергетичної системи значною мірою визначається ефективністю управління піковими навантаженнями. Останні є результатом одночасної активності таких споживачів, як промисловість, домогосподарства, транспорт тощо. Пікові навантаження відображають особливості економічної активності, побутового життя населення, кліматичних умов та ін. Тобто вони є комплексним явищем, що включає технічні, економічні, поведінкові складові тощо [1].

Дана робота присвячена розгляду низки питань в контексті аналізу проблеми управління піковими навантаженнями. Різні аспекти даної проблеми експлуатуються у багатьох публікаціях [2–15].

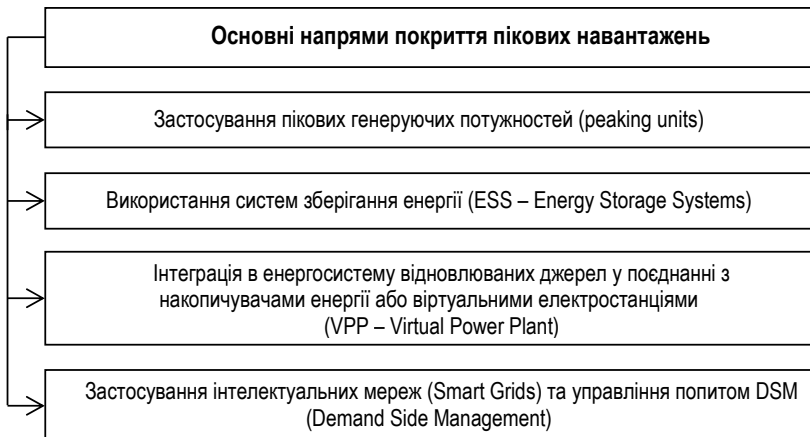
Формування пікових навантажень в Україні має певні особливості. До повномасштабного вторгнення РФ в Україну спостерігалися значні відмінності між середньодобовим і піковим споживанням енергії в ОЕС України. Серед добових піків більш яскравими були ранкові піки, насамперед, з огляду на значну частку промисловості в структурі споживання. Щодо сезонних піків, то вони припадали на зимові місяці через значне енергоспоживання домогосподарствами і енергоємним обладнанням підприємств. Повномасштабне вторгнення РФ в Україну призвело до суттєвої зміни структури попиту. Серед відповідних факторів впливу виділяється значне зменшення промислового споживання, внутрішня і зовнішня міграція населення, непередбачувані обставини та ін. Внаслідок системних атак на об'єкти енергетики була втрачена значна частка маневрових потужностей. З огляду на вищевикладене проблема покриття пікових навантажень наразі постала особливо гостро.

На особливу увагу заслуговує такий важливий чинник формування пікових навантажень, як інтеграція відновлюваних джерел енергії в енергосистему України. Встановлені потужності сонячної генерації з 2014 до 2024 року знизились від 1006 МВт до 782 МВт. За цей період

потужність ВЕС залишилась незмінною – 299 МВт. Інтеграція ВДЕ в енергосистему України призвела до зміни добової кривої навантаження, збільшення амплітуди добових коливань навантаження, формування поряд з класичними піками «псевдопиків», до випадкових та не-прогнозованих коливань генерації через сезонну і погодну нестабільність тощо. Вказана інтеграція ВДЕ зумовлює необхідність розробки відповідних механізмів реагування.

Основні напрями покриття пікових навантажень можна поділити на традиційні і інноваційні. Традиційним напрямом є застосування пікових генеруючих потужностей. До інноваційних напрямів належать: використання систем зберігання енергії (ESS – Energy Storage Systems), інтеграція в енергосистему ВДЕ у поєднанні з накопичувачами енергії або віртуальними електростанціями (VPP – Virtual Power Plant) та застосування інтелектуальних мереж (Smart Grids) і управління попитом (DSM – Demand Side Management), рисунок.

Щодо застосування пікових генеруючих потужностей, то в Україні головними є ТЕС, ТЕЦ, ГЕС та ГАЕС. При цьому найбільш широкому застосуванню відповідають теплові електростанції. До покриття пікових навантажень широко залучаються також ГТУ та ДВЗ, які характеризуються низкою відомих переваг. У покритті пікових навантажень велике значення мають гідроелектростанції, насамперед гідроаккумулявальні. Останні характеризуються високою швидкістю, найширшим діапазоном навантажень, здатністю до інерційної підтримки частоти тощо.



**Рисунок.** Основні напрями покриття пікових навантажень в енергосистемі України.

До інноваційного напрямку покриття пікових навантажень належать акумуляторні системи накопичення енергії ESS із застосуванням Лі-іонних батарей, гібридних накопичувачів та водневих технологій. Однак в Україні їх впровадження перебуває на початковій стадії, хоча має значний потенціал розвитку. Інноваційним сегментом покриття пікових навантажень є також інтелектуальні мережі (Smart Grids) та керування навантаження (DSM). Цей підхід полягає у зменшенні або перенесенні навантаження та не пов'язаний зі збільшенням генерації. Реалізація потенціалу даного підходу в Україні вельми обмежена. Хоча наявні поодинокі приклади пілотних впроваджень та можливість їх масштабування.

В межах даної роботи виконано порівняльний аналіз характеристик різних типів пікових потужностей – ДВЗ, ГТУ, акумулювальні батареї ESS, гідроакумулювальні станції ГАЕС та малі гідроелектростанції міні-ГЕС. Порівняння здійснювалось за характеристиками цих потужностей щодо технічної гнучкості та часу реакції, тривалості роботи та надійності, системної інтеграції та масштабованості і вартісних параметрів. Згідно з результатами порівняльного аналізу ДВЗ мають переваги щодо гнучкості, частоти пусків та капітальної вартості. ГТУ демонструють високу ефективність при стабільних пікових навантаженнях великої тривалості. Акумуляторні батареї мають найвищу швидкодію, характеризуються високою екологічною ефективністю та точністю регулювання частоти/напруги, однак дороговартісні та обмежені щодо тривалості автономної роботи. ГЕС є стратегічно важливими, але їх реалізація можлива лише за певних умов.

За результатами виконаного аналізу можна зробити висновок про підвищення актуальності проблеми управління піковими навантаженнями в енергосистемі України, що пов'язано, насамперед, зі зростанням даних навантажень, яке спричиняється змінами клімату, підвищенням рівня інтеграції ВДЕ в енергосистему тощо.

### **Список використаної літератури**

1. Енергетична стратегія України до 2035 року: Міненерго України. Київ : НІСД, 2015. <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2015-04/Energy%20Strategy.pdf>
2. Uğur Çakır, Kemal Çomaklı, Fikret Yüksel. The role of cogeneration systems in sustainability of energy // Energy Conversion and Management. 2012. № 63. P. 196–202. DOI : 10.1016/j.enconman.2012.01.041.
3. План відновлення України: Енергетика: Національна рада з відновлення України від наслідків війни. [https://uploads-ssl.webflow.com/625d81ec8313622a52e2f031/62c1b0a10babb54a8ec49184\\_Енергетична%20безпека.pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/625d81ec8313622a52e2f031/62c1b0a10babb54a8ec49184_Енергетична%20безпека.pdf)

4. Зварич Р., Масна О. Національна політика України щодо ВДЕ: аналіз міжнародних зобов'язань та інтеграція до європейських енергетичних ринків // Вісник Економіки. 2024. № 4. С. 122–136. <https://doi.org/10.35774/visnyk2024/04/122> <https://dspace.wunu.edu.ua/jspui/bitstream/316497/53637/1/%d0%97%d0%b2%d0%b0%d1%80%d0%b8%d1%87.PDF>
5. МЕА. Розширення можливостей України через децентралізовану систему електроенергетики, 2024. МЕА, Париж. <https://www.iea.org/reports/empowering-ukraine-through-a-decentralised-electricity-system>
6. Тесленко О. І. Енергетичний потенціал розподіленої генерації на потужних котельнях України в умовах воєнної агресії // Енерготехнології та ресурсозбереження. 2024. № 1. С. 47–59. DOI : 10.33070/etars.1.2024.04.
7. Динаміка і структура споживання електроенергії в Україні. <https://uaea.com.ua/dysp/ee-cons.html>
8. Gonçalves A.C.R., Costoya X., Nieto R., Liberato M.L.R. Extreme weather events on energy systems: a comprehensive review on impacts, mitigation, and adaptation measures // Sustainable Energy Res. 2024. 11(4). P. 4–28. DOI : 10.1186/s40807-023-00097-6.
9. ДТЕК запускає першу в Україні промислову Li-ion систему зберігання енергії. <https://etn.news/energy-storage/dtek-launches-ukraine-s-first-industrial-li-ion-energy-storage-system>
10. Smart Grid: Ukraine on the path to an energy revolution. <https://ua-energy.org/en/posts/29-05-2025-cd75a12f-f41d-4cb2-a166-126cc1e7ab7c>
11. Khalatov A., Fialko N. Gas Turbine and Gas Piston Power Plants for Distributed Energy Sector of Ukraine // System Research in Energy. 2025. № 1. P. 4–14. DOI : 10.15407/srenergy2025.01.004
12. Renewable power generation costs in 2024, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. IRENA (2025). <https://www.rinnovabili.it/wp-content/uploads/2025/07/IRENA-RENEWABLE-POWER-GENERATION-COSTS-IN-2024.pdf>
13. Халатов А. А., Кулішов С. Б., Чобенко В. Н., Раймов Р. І. Використання газотурбінних технологій – ключ до енергетичної безпеки України // Промелектро «Промислова електроенергетика та електротехніка». 2020. № 3. С. 10–16. <https://promelektro.com.ua/archive.html>
14. Національна стратегія енергетичної безпеки України до 2030 року / Міністерство енергетики України. Київ, 2022. 45 с.
15. Giedraityte A., Rimkevicius S., Marciukaitis M., Radziukynas V., Bakas R. Hybrid Renewable Energy Systems. A Review of Optimization Approaches and Future Challenges // Applied Sciences. 2025. 15(4). 1744. <https://doi.org/10.3390/app15041744>

**Н. М. Фіалко, О. І. Сігал, Ю. В. Шеренковський,  
Є. Й. Бикоріз, Н. О. Меранова**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ПОКРИТТЯ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ УКРАЇНИ**

Перспективи розвитку технологій покриття пікових навантажень відповідають Стратегії розвитку ОЕС України до 2035 року [1]. Згідно з даною Стратегією необхідно досягти щонайменше 10% маневрених потужностей від пікового навантаження системи. Це передбачає введення додатково щонайменше 1,5–2,0 ГВт гнучких пікових потужностей.

У даній роботі розглядаються основні напрями розвитку технологій покриття пікових навантажень в енергосистемі України.

Забезпечення покриття пікових навантажень в Україні потребує поєднання традиційних та інноваційних технологій. До традиційних технологій, насамперед, належать теплові електростанції як основа пікового резерву, газотурбінні, гідроелектростанції та гідроаккумуляційні станції. Інноваційні технології включають акумуляторні системи (ESS – Energy Storage Systems), кероване навантаження (DSM – Demand Side Management), віртуальні електростанції (VPP – Virtual Power Plant) та ін. Провідну роль у короткостроковій перспективі відіграватимуть гнучкі ТЕС, гідроаккумуляційні потужності, ДВЗ та ГТУ. З часом інноваційні технології стануть основою створення майбутнього гнучкого та адаптивного ресурсу.

Щодо ТЕС, то попри їх обмежену маневреність через інерційність обладнання вони будуть певний час залишатися важливим джерелом маневрених потужностей. ДВЗ та ГТУ з огляду на низку їх достоїнств теж збережуть значущість як ключові елементи пікової генерації. При цьому ДВЗ будуть використовуватися для систем з високими вимогами до маневреності та для міських мікромереж через вищі показники при динамічному навантаженні та швидке реагування на зміни потужності. ГТУ застосовуватиметься, насамперед, у стабільних режимах або в

комбінованих установках великої потужності з тепловою утилізацією. Однак, у майбутньому акцент буде робитися на більш екологічні альтернативи, до прикладу, на ГТУ, що працюють на біометані або водні, на гібридні системи ГТУ та батарейні накопичувачі тощо. Подальшого розвитку набудуть також мобільні електромодулі, що базуються на ДВЗ та ГТУ.

Щодо майбутнього впровадження ДВЗ та ГТУ, то найбільший потенціал мають південні та східні промислові регіони, Запорізька, Дніпропетровська, Харківська області, а також великі міста Центральної України [2, 3]. Поряд з цим впровадження модульних газотурбінних або газопоршневих установок є доцільним для віддалених територій з низькою щільністю населення, зокрема, Карпатський регіон та деякі регіони Полісся [4].

У межах впровадження нових програм енергетичної модернізації через міжнародні донорські механізми прогнозується активне розширення проєктів когенерації з використанням ДВЗ та ГТУ більш ніж у 15 регіонах України до 2030 року [5].

ГЕС та ГАЕС вельми ефективні для покриття піків завдяки їх високій маневреності, а наявність потужних ГАЕС є критично важливою для балансування системи. Відтак будівництво нових гідроакумуляторних станцій та модернізація існуючих належить до довгострокових та стратегічних завдань. У контексті розвитку пікових потужностей на основі ГЕС заслуговує також на увагу створення міні-ГЕС у поєднанні з накопичувачами енергії.

Щодо інноваційних технологій покриття пікових навантажень, то тут одним з найбільш перспективних напрямів є застосування акумуляторних систем ESS. Вони характеризуються швидкістю реагування, що становить мілісекунди, до того ж можуть бути розміщені в будь-якій точці мережі. З огляду на це акумуляторні системи є вельми ефективними для локального згладжування піків та забезпечення стійкості системи. До прикладу, можуть широко застосовуватися модулі потужністю 50–100 МВт на об'єктах, де розміщені СЕС та ВЕС.

Про важливість розвитку напряму, пов'язаного із системами накопичення енергії, свідчить також розроблення спеціальної програми НЕК «Укренерго» [6].

Важливим залишатиметься інноваційний підхід, пов'язаний з керуванням навантаженням DSM, який дає можливість впливати на поведінку споживачів для згладжування піків. При цьому набудуть подальшого розвитку такі інструменти керування попитом, як диферен-

ційовані за часом тарифи, програми зниження навантаження у години максимуму та акумулювання нічного споживання тощо. Про потенціал впровадження DSM свідчать результати досліджень Німецького бюро міжнародної співпраці GIZ, згідно з якими лише 100 найбільших споживачів можуть забезпечити 300–400 МВт гнучкого зменшення навантаження.

Перспективним є також покриття пікових навантажень із застосуванням ВДЕ у поєднанні з накопичувачами або віртуальними електростанціями (VPP). У контексті формування нових типів пікових навантажень, зумовлених інтеграцією ВДЕ в енергетичну систему, набуває актуальності модернізація системи їх прогнозування з використанням штучного інтелекту та супутникових даних [7].

Значний інтерес становить розвиток гібридних систем на базі ДВЗ/ГТУ та ВДЕ, що відповідає одній із ключових тенденцій у світовій енергетиці. Так звана гібридизація має низку відомих переваг, таких як оптимізація експлуатаційних витрат за рахунок розподілу навантажень, зниження загального рівня викидів CO<sub>2</sub> тощо [8].

Покриття пікових навантажень із застосуванням вищевказаних підходів має на меті забезпечення необхідного обсягу активації потужності для задоволення попиту за умови мінімізації витрат, зменшення викидів та підтримання системної надійності [9, 10].

Вище розглянуто перспективи застосування лише основних підходів до покриття пікових навантажень, якими не вичерпується спектр можливих технологічних рішень.

Отже в статті наведено результати аналізу перспектив розвитку технологій покриття пікових навантажень в енергетичній системі України. Відмічається, що забезпечення покриття пікових навантажень має відбуватися на основі поєднання традиційних та інноваційних підходів, хоча у короткостроковій перспективі базовим трендом буде залишатися застосування традиційних технологій (ТЕС, ГТУ, ГЕС та ГАЕС). Вказується на важливість розвитку гібридних систем на основі ДВЗ/ГТУ та ВДЕ, зважаючи на беззаперечні переваги гібридизації.

### **Список використаної літератури**

1. Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 “Security, energy efficiency, competitiveness“. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>
2. Ustimenko V. I., Kirichenko E. M. Gas turbine units: design, processes, characteristics. Kyiv : Naukova Dumka, 2014. 320 p.
3. Khalatov A. A., Kulishov S. B., Chobenko V. N., Raimov R. I. The use of gas turbine technologies is the key to energy security in Ukraine // Promelectro “Industrial

electrical power engineering and electrical engineering”. 2020. No. 3. pp. 10–16. <https://promelektro.com.ua/archive.html>.

4. USAID Energy Security Project. Distributed cogeneration for resilience of critical infrastructure in Ukrainian cities. Kyiv, 2023. <https://www.usaid.gov/ukraine>. (Accessed : 20.07.2025)

5. National Strategy of Energy Security of Ukraine until 2030. Kyiv : Ministry of Energy of Ukraine, 2022. 45 p.

6. Data transmission system development plan for 2020-2029. <https://ua.energy/wp-content/uploads/2020/04/Plan-rozvytku-systemy-peredachi-na-2020-2029-roku.pdf>

7. Artificial intelligence in energy: analytical report / Sukhodolya O. M. K. : NISD, 2022. 49 p. <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.09>

8. Gülen C. Hybrid Systems in: Gas and Steam Turbine Power Plants. Applications in Sustainable Power. Cambridge University Press, 2023. pp. 233–245. DOI : 10.1017/9781108943475.008.

9. Ghofrani M., Hosseini NN. Optimizing Hybrid Renewable Energy Systems: A Review [Internet]. Sustainable Energy – Technological Issues, Applications and Case Studies. InTech; 2016. URL : <http://dx.doi.org/10.5772/65971>

10. Giedraityte A., Rimkevicius S., Marciukaitis M., Radziukynas V., Bakas R. Hybrid Renewable Energy Systems – A Review of Optimization Approaches and Future Challenges // Applied Sciences. 2025. 15(4). 1744. <https://doi.org/10.3390/app15041744>

УДК 697.34

**О. І. Сігал, Д. Ю. Падерно**

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

## **ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ КОГЕНЕРАЦІЇ В М. КИЄВІ**

На цей час в місті Києві завершуються роботи з передбаченого «Методикою розроблення схем теплопостачання населених пунктів України», затвердженою наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 2 жовтня 2020 року № 235, коригування «Схеми теплопостачання міста Києва до 2030 року», яка була затверджена рішенням сесії Київради № 08/231-1269/ПР від 9 вересня 2022 року.

В умовах воєнного стану в Україні, пошкодження значної частки генеруючих потужностей та ризиків їх подальшого пошкодження

внаслідок цілеспрямованих ударів по існуючим ТЕС та ТЕЦ з використанням ракет, авіабомб та безпілотних летальних апаратів, виникла нагальна потреба мінімізувати ризики подальших пошкоджень енергетичного та зокрема теплотехнічного обладнання, а також адаптувати систему теплопостачання міста Києва до їх наявних та потенційних наслідків. Вимушено відбулись значні зміни пріоритетів розвитку систем енергозабезпечення та в тому числі системи теплопостачання міста, з економічної та екологічної ефективності на енергетичну безпеку – можливість та надійність забезпечення потреб споживачів у тепловій енергії.

З огляду на вищезазначене, основною метою цього корегування Схеми теплопостачання є підвищення стійкості теплоенергетичного сектору міста Києва та його спроможності забезпечувати потреби споживачів міста, адаптуватися до умов, що постійно змінюються, протистояти та швидко відновлюватися після пошкоджень, задля безпечного, надійного, безперебійного та якісного функціонування системи теплопостачання м. Києва, забезпечення тепловою та електричною енергією об'єктів критичної та соціальної інфраструктури та інших споживачів м. Києва.

Розрахунковий період (15 років): I черга – до 2030 року; II черга з перспективою до 2040 року.

У відповідь на згадані вище ризики, виклики і загрози в місті Києві розроблена та прийнята «Концепція відновлення та підвищення енергетичної стійкості міста Києва (Розподілена когенерація)», схвалена рішенням Київської міської ради від 16 травня 2024 р. № 461/8427, основною метою якої є саме забезпечення стійкості, надійності та автономності систем енергопостачання м. Києва в існуючих умовах. Коригування Схеми теплопостачання м. Києва на період до 2030 року здійснюється з урахуванням положень цієї Концепції. Зокрема, передбачається впровадження запропонованих в Концепції заходів зі створення в місті декількох територіально розподілених когенераційних джерел, що надасть змогу підвищити енергетичну безпеку міста, забезпечити стійкість, надійність та за потреби автономність систем енергопостачання міста і зокрема автономність енергоживлення теплових джерел, можливість резервування джерел виробництва теплоти та електроенергії та забезпечення резервування зон енергопостачання, гнучкість та диверсифікованість всієї системи, в тому числі створення незалежних зон («островів») теплопостачання з можливістю роботи в автономному режимі, поєднаних резервними зв'язками в єдину енергетичну систему міста.

У вказаній Концепції визначено, що основною проблемою є зосередження великої кількості генеруючих потужностей на одному енергетичному об'єкті і створення великих вузлів навантаження з трансформаторним обладнанням, що несе загрозу одночасної втрати всієї потужності з втратою джерел живлення та великої кількості розподільчих зв'язків. Необхідно прийняття концептуальних рішень щодо підвищення стійкості енергосистеми в умовах військових і техногенних загроз; стратегія розвитку енергетичного сектора міста в цих умовах має бути заснована на гнучкості, мобільності та стійкості.

Оновлені концептуальні напрямки розвитку системи теплопостачання м. Києва враховують не тільки традиційні підходи до розвитку систем теплопостачання великих міст і нові тенденції в розвитку систем теплопостачання населених пунктів та технології виробництва, транспортування та постачання теплової енергії, а також особливості, зокрема ризику і загрози, які виникли в місті в останній час.

Основними концептуальними напрямками розвитку системи централізованого теплопостачання (СЦФ) міста Києва згідно скорегованого варіанту «Схеми теплопостачання міста Києва до 2030 року» є:

- Забезпечення здатності, безпеки, стійкості та надійності виробництва та постачання теплової енергії споживачам м. Києва в належному обсязі, відповідно до «Концепції відновлення та підвищення енергетичної стійкості міста Києва (Розподілена когенерація)».
- Збереження та розвиток закритої системи централізованого теплопостачання з підвищенням частки незалежних ділянок.
- Збереження системи централізованого гарячого водопостачання.
- Підвищення гнучкості, мобільності, стійкості та надійності теплопостачання споживачів міста за рахунок взаємного резервування джерел та систем транспортування теплової енергії шляхом будівництва перетинок між теплоджерелами.
- Формування балансу виробництва та споживання теплової енергії в місті на основі фактичних потреб споживачів.
- Розвиток автоматизації та диспетчеризації виробничих процесів та системи обліку теплової енергії.
- Сприяння розвитку статусу «Ефективної системи централізованого постачання» СЦФ міста відповідно до вимог нової Директиви ЄС 2023/1791 «Про енергетичну ефективність».
- Підвищення ефективності подальшого використання традиційних джерел енергії як основних у теплопостачанні міста.

- Розвиток використання відновлюваних та альтернативних джерел енергії.
- Перерозподіл навантажень від низькоефективних котелень до потужніших та ефективніших.
- Зменшення викидів забруднювальних речовин до нормативних рівнів.
- Заміна на сучасне та модернізація теплогенеруючого обладнання з урахуванням його завантаження.
- Заміна/реконструкція аварійних ділянок теплових мереж.
- Зменшення втрат теплової енергії при транспортуванні теплоносія.
- Модернізація теплових мереж з використанням сучасних технологій.
- Розширення встановлення індивідуальних теплових пунктів.

Передбачається зокрема впровадження об'єктів розподіленої когенерації на існуючих теплоджерелах, а також будівництво нових джерел спільного виробництва теплової та електричної енергії:

- На ТЕЦ-5 та ТЕЦ-6 КП «КИЇВТЕПЛОЕНЕРГО» – впровадження газотурбінних установок (ГТУ) та газопоршневих установок (ГПУ).
- На ТЕЦ-4 ТОВ «СВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ» – впровадження газопоршневої установки.
- На існуючих 4 станціях теплопостачання (СТ-1, СТ-2, СТ «Біличі», СТ «Позняки»), 12 районних котельнях (РК «Відрадний», РК «Нивки», РК «Микільська Борщагівка», РК «Виноградар», РК «Молодь», РК «Воскресенка», РК «Веркон», РК «ПАР», РК «Теремки», РК «Центральна», РК «Мінська», РК «Здолбунівська») та одній квартальній котельні (КК «Науки, 47»), а також на заводі «Енергія» – встановлення ГПУ з перетворенням цих теплоджерел у ТЕЦ або міні-ТЕЦ.
- Будівництво нової ТЕЦ-7 на паливі з відходів та природному газі, в складі фактично 2 ТЕЦ: ТЕЦ на паливі з ТПВ та ТЕЦ на природному газі, а також пуско-резервна котельня у складі парового котла, двох пікових водогрійних котлів та одного електричного водогрійного котла.
- Будівництво нового технологічного комплексу з переробки ТПВ, за рахунок приватних інвестицій, в складі станції з сортування та механіко-біологічного оброблення ТПВ, з виробництвом штучного твердого відновлюваного палива з горючої частини відходів – RDF/SRF; та заводу з термічної переробки цього палива з подальшою генерацією електричної та теплової енергії (міні-ТЕЦ-на-RDF/SRF).

Фактично передбачається, окрім існуючих в системі централізованого тепlopостачання міста трьох ТЕЦ, створити ще орієнтовно 6 ТЕЦ та 12 міні-ТЕЦ, більшість з яких будуть здатні використовуватись як базові джерела для створення «енергетичних островів».

Робота КГУ передбачається в години пікового споживання електроенергії на добу, в години непікового споживання електроенергії вони можуть бути вимкнені або працювати за потребою, що сприятиме добовому балансуванню виробництва-споживання електричної енергії.

На відміну від суттєво змінного добового графіку споживання електроенергії, потреба у тепловій енергії на опалення протягом доби змінюється незначно, а пікові години споживання теплової енергії в основному припадають на пікові години споживання електроенергії.

Теплозабезпечення споживачів міста в години роботи КГУ передбачається здійснювати від них, та при нестачі цієї теплової енергії – також від водогрійних котлів; в інші години доби – від водогрійних котлів. Таким чином, частину водогрійних котлів передбачається вивести з режиму постійного використання в режим балансування теплової енергії.

Низькоефективні котельні, навантаження споживачів яких може бути перерозподілене до потужніших та ефективніших теплогерел, передбачається залишити в резерві на випадок надзвичайних ситуацій.

Для оперативного реагування на аварійні ситуації доцільно забезпечити наявність резервного парку мобільних котельнь, оснащених котлами та генераторами електроенергії. В КП «КИЇВТЕПЛОЕНЕРГО» вже наявний парк таких котельнь, кількість яких у 2024 році досягла 51 одиниці (в тому числі надані міжнародними партнерами). Котельні працюють на дизельному паливі, розраховані на повністю автономну роботу протягом тривалого часу. Вказаної потужності вистачає для стабільного обігріву наприклад приміщень лікарні у випадку надзвичайних ситуацій. Таке обладнання вже неодноразово використовувалось комунальними службами міста в кризових випадках, тому їх ефективність та надійність доведена на практиці.

**O. I. Sigal<sup>1,2</sup>, D. Yu. Paderno<sup>1,2</sup>, A. S. Safiants<sup>1</sup>,  
B. Ceren<sup>3</sup>, S. Chekunova<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy  
of Sciences of Ukraine, Kyiv*

*<sup>2</sup>Institute of Engineering Ecology, Kyiv*

*<sup>3</sup>COWI A/S, Kongens Lyngby, Copenhagen, Denmark*

## **PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE DISTRICT HEATING SYSTEM IN THE CITY OF MYKOLAIV**

The city of Mykolaiv is the regional center of the Mykolaiv Oblast and the administrative hub of the Mykolaiv territorial community. It is located in southern Ukraine at the confluence of the Ingul and Southern Bug rivers, approximately 80 km from the Black Sea via the Bug-Dnieper Estuary.

The total area of Mykolaiv is 25,983 hectares, of which 17,800 hectares (68.5%) are land and 8200 hectares (31.5%) consist of natural and artificial water bodies, including the Southern Bug, the Ingul, the Bug Estuary, and the Zhovtneve Reservoir on the Inhulets River.

Mykolaiv has a steppe, moderately continental climate characterized by mild, low-snow winters and long, hot, and dry summers with limited precipitation. Average temperatures range from  $-3.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  in January to  $22.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  in July.

As of January 1, 2022, the population of Mykolaiv was approximately 470 thousand residents, placing it among the six largest cities in Ukraine.

Modern Mykolaiv is a specialized industrial center with a diversified economic base. Its leading sectors include mechanical engineering, particularly the production of machinery and equipment, transport equipment, and electrical and electronic components.

Heat consumers in Mykolaiv are served by the city's centralized district heating system (DHS), which accounts for 73.5% of the total connected heat load (501.6 Gcal/h). The remaining demand is met by autonomous heating systems (AHS) – 120 units installed in municipal institutions with a total installed capacity of 10.8 Gcal/h – and by apartment-level (individual) heating systems (ApHS) serving detached houses and individual apartments within multi-apartment buildings.

Heat generation and distribution for the DHS are provided by two main utility companies: OPU “Mykolaivoblteploenerho” (66.1%) and PrJSC “Mykolaiv CHPP” (33.9%). The system includes 98 heat generation sources, including one CHPP, a network of 289.2 km of heat pipelines, and 3,766 consumers, of which 2,185 are residential buildings. Heat consumption metering coverage is high, reaching 98.1% of supplied heat.

Individual heat substations (IHS) are installed at 129 consumer facilities, representing a connected heat load of 35.9 Gcal/h, or 7.1% of the total DHS load. In terms of fuel structure, heat generation relies predominantly on natural gas (99.87%), with marginal shares of renewable fuels (wood pellets – 0.10%) and coal (0.03%). Centralized domestic hot water (DHW) supply is not provided.

In addition to the main operators, limited centralized heat supply is also provided by JSC “NVKG Zorya-Mashproekt”. Of its two boiler houses, one serves exclusively the enterprise’s internal needs, while the second – the “Progress” boiler house – supplies heat to nearby external consumers.

The total installed capacity of the heat sources in Mykolaiv’s district heating system (DHS) is 914.1 Gcal/h, of which the available capacity amounts to 605.2 Gcal/h (66.2% of installed capacity). The connected (contractual) consumer load is 501.6 Gcal/h, representing 54.9% of the installed capacity. The estimated peak load, based on actual data for 2019–2023 and extrapolated to the normative temperature for the city of Mykolaiv according to KTM 204 Ukraine 244-94 and DSTU “Construction Climatology” –  $-20^{\circ}\text{C}$ , which includes losses in networks as well, is 533.3 Gcal/h, corresponding to 106.3% of the contracted load, 58.4% of installed capacity, and 88.1% of available capacity – this reflects the real load factor of operational heat generating equipment.

As of 2023, the available heat generation capacity of the Mykolaiv DHS is sufficient to meet consumer demand. The total reserve of available capacity relative to the contractual load is 104.8 Gcal/h (17.3% of total available capacity), and relative to the estimated peak load is 67.9 Gcal/h (11.2% of available capacity).

A number of reconstruction and development programs are being actively implemented in the city’s heat supply sector. These initiatives encompass upgrades to heat generation facilities, modernization of heat transportation networks, and installation of individual heat substations (IHS). Projects are financed through the resources of heat supply companies and asset holders, as well as through loans and grants, including:

- Energy Saving Program “Warm Mykolaiv” (2017–2025), approved by Mykolaiv City Council Resolution No. 13/12 of 23 December 2016, which sets out measures for the modernization of centralized heat supply systems.
- Investment Project “Improving Energy Efficiency in the Sphere of Centralized Heat Supply in Ukraine”, providing USD 21.7 million in loans to Mykolaiv’s heat-generating enterprises.
- Investment Project “DemoUkrainaDH in the City of Mykolaiv”, supported by NEFCO with EUR 0.5 million.
- Project for the Integrated Development of Heat and Power Generation in the Mykolaiv Region and the City of Mykolaiv, initiated in 2025.
- Participation since September 2025 in the FELICITY II Program, implemented by GIZ in cooperation with the European Investment Bank under the International Climate Initiative (IKI). Through this program, Mykolaiv receives targeted support for developing design documentation for ten apartment buildings damaged during the full-scale war.

The main heat supply enterprises of Mykolaiv are also active participants in several projects financed by international financial institutions and development partners.

In particular, OPU “Mykolaivoblteploenerho” is involved in the following initiatives:

- “Improving Energy Efficiency in the Sphere of Centralized Heat Supply in Ukraine” – financed through loans from the International Bank for Reconstruction and Development (IBRD) and the Clean Technology Fund (CTF).
- “Response to Wintering in Ukraine” – supported by the Government of Denmark through the Ministry of Foreign Affairs, aimed at strengthening electricity and heat supply in the Mykolaiv region through the purchase of generators, boiler units, power supply equipment, and other essential non-food items.
- “Energy Security Project” – supported by the United States Agency for International Development (USAID), providing equipment, materials, and other forms of international technical assistance.
- “Economic Support to Ukraine” – funded by the U.S. Government through USAID, supplying technical assistance for the restoration of community infrastructure.
- “Procurement of Goods and Services for the Restoration of Ukraine” – financed by the Government of Denmark, supporting uninterrupted electricity, water, and heat supply and facilitating recovery efforts

through the purchase of modular boiler houses, specialized equipment for producing alternative solid fuels, and water pumps.

- “Emergency Recovery Program (Phase 2)” – supported by the Government of Japan through the Japan International Cooperation Agency (JICA), providing essential equipment and materials for emergency recovery in sectors such as security, energy, housing, and municipal services.

PrJSC “Mykolaiv CHPP” participates in several projects aimed at improving the city’s heat supply infrastructure:

- In cooperation with the Mykolaiv City Council and the Government of Denmark – received pre-insulated pipes with a diameter of 720 mm for the repair of heat supply networks.
- In cooperation with the International Organization for Migration (IOM) – is implementing a joint project to modernize the enterprise’s pumping group by installing European-made pumps with frequency regulation that meet all technical requirements, ensuring uninterrupted heat supply.
- With support from the NGO “Southern Development Strategy” and DanChurchAid – reconstruction of the heat network section along Pohranychna Street at the intersection with Sadova Street, providing heat to approximately 160,000 residents.

The city, including its district heating system, receives significant support from the Government of Denmark through the Ministry of Foreign Affairs, particularly under city-wide initiatives such as “Rebuilding Communities and Social Infrastructure: Comprehensive Rehabilitation of Microdistricts in Mykolaiv”, “Mykolaiv Restored”, and “Strengthening the Health Care System in Mykolaiv, Ukraine”.

Within the framework of the project “Technical Consulting of the Ministry of Foreign Affairs of Denmark on the Mykolaiv-Denmark Partnership” in 2024, a team from the Italian company One Works and the Danish company COWI A/S developed a comprehensive Master Plan for the Development of Mykolaiv. This Master Plan is intended to guide the city’s revival and determine its long-term development trajectory. It addresses economic, socio-demographic, infrastructural, and territorial aspects, analyzes war-related damage, explores opportunities for recycling construction waste, and provides recommendations for urban expansion, efficient resource use, and reconstruction strategies.

Also in 2024, with financial support from the Government of Denmark (through the Ministry of Foreign Affairs and the Danish Energy Agency)

and under the Ukrainian-Danish Energy Partnership Program (UDEPP), the development of a new Heat Supply Scheme (HSS) for Mykolaiv was launched. This initiative aims to modernize the city’s district heating system and implement energy-efficient technologies.

The HSS is being developed by COWI A/S in cooperation with the Institute of Engineering Ecology and specialists from the Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine, among other organizations. The conceptual development of the city’s heat supply system considers traditional approaches for large urban centers, emerging trends in heat supply system technologies, and the production, transportation, and distribution of heat. It also accounts for recent risks, challenges, and threats specific to Mykolaiv.

During the full-scale armed aggression of the Russian Federation against Ukraine, the energy sector became a primary target due to its strategic importance for the economy and the livelihood of the population. Targeted attacks on the city’s critical energy infrastructure caused significant damage and loss of electricity and heat generation capacity, with the Mykolaiv CHPP particularly affected.

In response to this situation and the urgent need to minimize the risks of further damage to energy and heat infrastructure, as well as to adapt the city’s heat supply system to current and potential consequences, priorities for the development of Mykolaiv’s energy systems – particularly its district heating system (DHS) – have shifted. The focus has moved from economic and environmental efficiency toward energy security, ensuring the reliable supply of heat to consumers under challenging conditions.

The main conceptual directions for the development of the city’s heat supply system over the 10-year planning horizon of the Heat Supply Scheme (HSS) include:

- Ensuring reliability, safety, and sustainability of heat production and due supply to all consumers. This includes implementing distributed cogeneration technologies, creating several potentially independent “energy islands” within the city, and restoring or building linkages between heat source networks to provide mutual redundancy for heat generation and transport systems as needed.
- Increasing fuel and energy efficiency while integrating traditional and renewable energy sources. The strategy promotes the development of an “Efficient District Heating System” in accordance with Directive (EU) 2023/1791 on Energy Efficiency.

- Balancing heat production and consumption based on actual consumer needs, for correct determining the required installed capacity of heat sources and the throughput of heat networks.
- Replacing and modernizing existing heat generation equipment, prioritizing base-load coverage and then peak-load equipment, according to available financial resources.
- Reducing greenhouse gas and pollutant emissions to meet regulatory requirements through low-emission combustion technologies, and, if necessary, secondary measures such as flue gas treatment systems.
- Preserving and further developing a closed centralized heat supply system, while increasing the share of hydraulically independent sections to optimize the hydraulic operating regime of the DHS, eliminate excessive and above-normative heat-carrier pressures, and enhance the system's resilience to damage.
- Improving the efficiency of heat consumption by expanding thermal modernization measures for buildings – primarily in the budget sector under municipal oversight, as well as in residential buildings – and by further scaling up the installation of individual heat substations (IHSs) in budget-sector, residential, and other buildings. These measures will reduce heat consumption, prevent the need for excessive network pressure, and improve consumer comfort.

These measures aim to ensure that Mykolaiv's heat supply system is resilient, energy-efficient, and capable of reliably serving the city's population under both current and future conditions.

The prospective heat load of the city's DHS consumers for 2034 is estimated at 557.6 Gcal/h, including 38.1 Gcal/h for domestic hot water (DHW). This estimate accounts for existing consumers (considering possible disconnections), new consumers scheduled according to issued technical conditions, additional consumers according to approved detailed plans of territories, and DHW supply based on pilot projects for local restoration.

Recommended measures for OPU "Mykolaivoblteploenerho":

- Construction of distributed cogeneration facilities totaling 65.4 MW<sub>el</sub> based on gas piston units at 8 boiler houses.
- Reconstruction of 12 boiler houses with a total capacity of 30.5 MW<sub>th</sub>, replacing obsolete equipment.
- Construction of two biomass CHP plants with a total capacity of 10 MW<sub>el</sub> and 20 MW<sub>th</sub> at two sites.
- Installation of three heat pump stations utilizing ambient air, with a total capacity of 13.5 MW<sub>th</sub> at three boiler houses.

- Installation of two heat pump stations using sewage heat, with a total capacity of 0.6 MW<sub>th</sub>, connected to the networks of two boiler houses.
- Switching heat supply from three boiler houses to more efficient sources.
- Switching heat supply from 13 basement boiler houses to the Mykolaiv CHPP.
- Installation of 220 IHS units in residential buildings supplied by two boiler houses (pilot project).
- Installation of 841 IHS units in residential buildings with three or more floors, and 53 IHS units in budget institution buildings where economically feasible.

Recommended measures for PrJSC “Mykolaiv CHPP”:

- Construction of cogeneration facilities totaling 80 MW<sub>el</sub> based on gas piston units.
- Construction of a municipal solid waste (MSW) processing and energy recovery complex.
- Installation of a heat pump station with a thermal capacity of 25 Gcal/h, utilizing the thermal potential of the Bug Estuary water.
- Replacement of the existing obsolete turbogenerator with a new unit rated at 20 MW<sub>el</sub>.
- Reconstruction of the TKP-2 steam boiler, including replacement of burner devices with low-emission ones.
- Installation of 593 individual heat substations (IHS) in residential buildings with three or more floors, and, based on economic feasibility, 48 IHS units in public institution buildings.

It is also recommended to consider the implementation of trigeneration technologies in the city’s DHS. In addition to electricity generation, trigeneration allows for the combined centralized supply of heat and cooling, particularly from the Mykolaiv CHPP and new mini-CHPPs (cogeneration units) based on large boiler houses and CHPPs fueled by solid waste and biomass. Such systems improve the economic feasibility of CHPP operation even during the non-heating season and are increasingly relevant in the context of global warming. Although these measures are not yet planned in the city, their consideration for future development is recommended.

The implementation of the planned measures under the Mykolaiv City Heat Supply Scheme is expected to:

- Increase the stability, reliability, and uninterrupted supply of heat to city consumers.
- Improve fuel and energy efficiency across all stages of heat supply – production, transportation, and consumption.

- Integrate renewable energy sources.
- Reduce the environmental impact of the heat supply system.
- Lower the cost of heat energy supply and enhance consumer comfort.

The developers of the Mykolaiv Heat Supply Scheme express their sincere gratitude to the Government of the Kingdom of Denmark, the Ministry of Foreign Affairs of Denmark, and the Danish Energy Agency for their financial support of this work.

УДК 697.34

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

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

<sup>2</sup>*Інститут промислової екології, м. Київ*

<sup>3</sup>*Криворізька міська рада, м. Кривий Ріг*

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

З метою підвищення якості, енергоефективності, надійності, екологічності та фінансової стійкості системи теплопостачання міста Кривого Рогу, оптимізації економічно ефективного теплопостачання міста тощо, на замовлення Криворізької міської ради, фахівцями Інституту технічної теплофізики НАН України у співпраці з іншими спеціалізованими організаціями в 2024–2025 роках здійснено розроблення нової схеми теплопостачання м. Кривого Рогу, 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, генерального плану міста, фактичного стану системи централізованого теплопостачання міста, та ризиків і загроз в умовах збройної агресії російської федерації проти України.

Схема теплопостачання міста Кривого Рогу розроблена на розрахунковий період 10 років.

Проект «Схеми теплопостачання міста Кривого Рогу» був розглянутий та погоджений на засіданні Комісії Мінрегіону України з погодження схем теплопостачання населених пунктів з кількістю жителів більше як 20 тисяч осіб і регіональних програм модернізації систем теплопостачання (протокол № 3 від 05.06.2025 р., наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 07.07.2025 р. № 97/ДСК).

Місто Кривий Ріг є містом обласного значення Дніпропетровської області, адміністративний центр Криворізького району та Криворізької міської громади. Сьоме за чисельністю населення та друге за площею місто країни, найбільше серед міст України, що не є обласним центром. Територія міста Кривого Рогу складає 431,4 км<sup>2</sup>, особливістю міста є велика протяжність – з півночі на південь 126 км (найбільша серед міст в Європі), ширина – до 20 км.

Чисельність наявного населення в м. Кривому Розі станом на 2024 рік становила 607 773 осіб. Від початку війни у 2014 році, місто почало приймати вимушених переселенців з Донецької та Луганської областей, їх кількість станом на 01.04.2024 р. становила 66 380 осіб, що офіційно стали на облік. Разом з тим, під час військового стану частина мешканців Кривого Рогу переїхала здебільшого в західні регіони України та за межі України.

Головною містоутворюючою галуззю Кривого Рогу є чорна металургія. Питома вага гірничо-металургійного комплексу складає 86% від загального обсягу промислового виробництва в місті. Загальні розвідані запаси залізних руд у Кривбасі становлять за різними оцінками від 18 млрд т до 32 млрд т. Тут розташовано 8 з 11 підприємств України з видобутку та переробки залізорудної сировини, підприємства з обслуговування основного виробництва. Це потужний виробничий комплекс, що включає гірничо-металургійний комбінат, чотири гірничозбагачувальні й два залізорудні комбінати тощо. Зокрема, в місті розташований один з найбільших у світі гірничо-металургійних комбінатів – публічне акціонерне товариство «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Система теплопостачання міста Кривого Рогу складається з системи централізованого теплопостачання, систем автономного теплопостачання та систем індивідуального (поквартирного) теплопостачання.

Основним способом забезпечення споживачів міста Кривого Рогу тепловою енергією є централізоване теплопостачання, яке забезпечує тепловою енергією більшість (72,4%) споживачів міста.

В системі генерації теплової енергії для централізованого теплопостачання споживачів м. Кривого Рогу працюють 4 оператори:

- Акціонерне товариство (АТ) «Криворізька теплоцентрально» (6 теплоджерел);
- Комунальне підприємство теплових мереж (КПТМ) «Криворіж-тепломережа» (72 теплоджерела);
- КП «Кривбастеплоенерго» КМР (7 теплоджерел);
- ТОВ «Дніпровське управління регіонального будівництва» (ТОВ «ДУРБ») (2 теплоджерела).

З вказаних операторів перші два забезпечують надання послуг з теплопостачання для майже 98% споживачів системи централізованого теплопостачання (СЦТ).

Також незначну частину генерації теплової енергії в місті реалізують 15 невеликих автономних котелень: у 7 закладах охорони здоров'я Управління охорони здоров'я виконкому Криворізької міської ради, у 4 закладах освіти, у 2 закладах культури та у 2 закладах департаменту соціальної політики.

Відомчі промислово-опалювальні котельні підприємств постачають теплову енергію лише для власних потреб і не приймають участі у теплопостачанні житлових будинків чи будівель бюджетної сфери.

Системи індивідуального (поквартирного) теплопостачання забезпечують тепловою енергією окремі квартири в багатоквартирних будинках та садибну забудову (частка близько 5,3%).

Загальна встановлена теплова потужність джерел генерації теплової енергії СЦТ становить 3640,1 Гкал/год, доступна на відпуск теплової енергії – 1838,7 Гкал/год.

Основним видом палива при виробництві теплової енергії для системи централізованого теплопостачання міста Кривого Рогу є природний газ, невелика частка теплопостачання забезпечується з використанням електричної енергії.

В автономних та індивідуальних системах теплопостачання використовуються природний газ, біомаса, вугілля та електрична енергія.

В базовому 2023 році теплове навантаження (договірне) споживачів СЦТ міста становило 1281,6 Гкал/год, в т. ч. на опалення – 1256,4 Гкал/год, на вентиляцію – 25,2 Гкал/год; послуги з гарячого водопостачання в місті не надаються, відновлення надання послуг ГВП не планується.

Загальної доступної потужності на відпуск теплової енергії достатньо для забезпечення вказаного теплового навантаження, однак для

котельні КМК спостерігається значний дефіцит теплової потужності (48,7 Гкал/год), та для 22 котельень спостерігається незначний дефіцит теплової потужності (всього 7,6 Гкал/год).

Теплоджерелами СЦТ міста Кривого Рогу в 2023 році з використанням природного газу було вироблено 1 481 812 Гкал теплової енергії, з них відпущено у тепломережу та поставлено споживачам 1 447 845 Гкал та 1 012 163 Гкал відповідно. Втрати в тепломережах при транспортуванні склали 435 682 Гкал, що становить 30,1% від обсягів відпущеної теплової енергії і є надто високими.

Криворізька теплоцентраль на цей час працює лише на виробництво теплової енергії, генерація електроенергії відсутня.

Переважна кількість котельного обладнання експлуатується понад 20 років та є морально застарілим, що призводить до понаднормових витрат природного газу при виробництві теплової енергії. Загальна довжина теплових мереж у двотрубному обчисленні складає майже 632 км, рівень зносу яких знаходиться на рівні 70%.

Через підрив російською федерацією Каховської ГЕС у червні 2023 року підприємства теплопостачання зіткнулися з проблемами обмеженого водопостачання, зниженням якості води. Наслідком цього стали чисельні пориви теплових мереж (магістральних та внутрішньо-квартильних) та відповідно аварійні відключення споживачів – комунальних об'єктів, об'єктів житлового фонду.

Протягом опалювального періоду 2024–2025 років споживачі міста недоотримували теплову енергію внаслідок аварійного стану теплових мереж; фахівці теплопостачальних підприємств всієї країни до цього часу приймають участь у реконструкції обладнання.

Згідно інформації адміністрації міста, протягом наступних років нове будівництво, збільшення населення та збільшення теплового навантаження на систему централізованого теплопостачання не передбачається.

Прогнозується, що теплове навантаження (договірне) споживачів системи централізованого теплопостачання міста зменшиться в результаті проведення термомодернізації бюджетних будівель, встановлення в них індивідуальних теплових пунктів (ІТП), та відключення частини споживачів ПрАТ «Північний ГЗК» (в обсязі 24,05 Гкал/год), і становитиме 1256,6 Гкал/год, в т. ч. на опалення – 1231,4 Гкал/год, на вентиляцію – 25,2 Гкал/год.

Під час розроблення «Схеми теплопостачання м. Кривого Рогу» була налагоджена тісна співпраця між розробниками схеми та органа-

ми місцевого самоврядування, підприємствами в сфері теплопостачання міста; інформація та пропозиції, отримані від них в процесі розроблення Схеми, враховані розробниками схеми.

Згідно рекомендованого сценарію розвитку системи теплопостачання міста Кривого Рогу в частині теплових джерел передбачається:

- Будівництво комплексу з перероблення твердих побутових відходів (ТПВ) міста (попереднього сортування та механіко-біологічного оброблення ТПВ з виробництвом штучного твердого відновлюваного палива з органічної частини відходів – RDF/SRF (RDF – Refuse Derived Fuel, SRF – Solid Recovered Fuel), та енергетичного відновлення цього палива з залишкових ТПВ з генерацією електричної та теплової енергії (ТЕЦ на RDF/SRF). Очікується, що новий комплекс буде спроможним переробляти значну частину ТПВ міста, з можливістю подальшого збільшення потужності до переробки практично всіх ТПВ, які доцільно буде зібрати та вивезти на переробку, тобто орієнтовно 220–240 тис. т ТПВ на рік.
- Розвиток впровадження когенераційних технологій, в т. ч. відновлення працездатності парової турбіни потужністю 12 МВт у котло-турбінному цеху (КТЦ) РК № 1 АТ «Криворізька теплоцентраль», та встановлення когенераційних газопоршневих машин у кількості 31 одиниця, загальною потужністю 156,7 МВт<sub>ел</sub> та близько 133,6 Гкал/год<sub>тепл</sub>.
- Перерозподіл теплового навантаження між тепłodжерелами, в тому числі будівництво 3 нових котелень загальною потужністю близько 170 Гкал/год, встановлення 9 блочно-модульних котелень загальною потужністю близько 47 Гкал/год.
- Встановлення 5 утилізаторів теплоти димових газів котлів загальною потужністю близько 3,5 Гкал/год.
- Заміна теплогенеруючого обладнання з встановленням 36 нових котлів.
- Реконструкція теплогенеруючого обладнання, в тому числі відновлення працездатності, заміна пальникового обладнання на низькоемісійне тощо.
- Реконструкція іншого обладнання котелень, в т. ч. заміна насосного обладнання з встановленням частотних перетворювачів тощо.
- Встановлення теплонасосного обладнання на 2 станціях аерації та сонячних колекторів на дахах будівель 11 потужних котелень.

Крім того, для забезпечення можливості автономної роботи, в тому числі в критичних ситуаціях, передбачається будівництво нових авто-

номних локальних теплових джерел на територіях 6 міських комунальних лікарень, в т. ч. 3 КГУ та 6 блочно-модульних котелень.

З метою підвищення надійності тепlopостачання міських закладів освіти, які на цей підключені до мереж АТ «Криворізька теплоцентраль» та існує аргументований ризик відсутності подачі теплоносія від неї, передбачається будівництво 11 нових блочно-модульних котелень, які будуть здатні забезпечити тепловою енергією 39 закладів, та 25 теплонасосних станцій типу «повітря–вода» у 25 закладах.

Всі ці теплоджерела планується згодом прийняти на обслуговування та баланс КПТМ «Криворіжтепломережа».

Також передбачається забезпечення підвищення надійності тепlopостачання споживачів міста, зокрема за рахунок створення взаємного резервування теплоджерел та систем транспортування теплової енергії, шляхом відновлення існуючих та будівництва нових перемичок між тепловими джерелами, в першу чергу між потужними районними та квартальними котельнями, з об'єднанням максимально можливої та доцільної кількості основних теплоджерел міста в єдину систему тепlopостачання, зі створенням можливостей взаємного резервування на випадок аварійних ситуацій та інших можливих причин.

В результаті реалізації передбачених заходів, очікується досягнення підвищення надійності, якості і енергоефективності тепlopостачання, та підвищення комфорту життєдіяльності споживачів м. Кривого Рогу. Система централізованого тепlopостачання міста наблизиться до відповідності критеріям Директиви 2012/27/ЄС «Про енергоефективність» та Закону України «Про енергетичну ефективність» до «Ефективної системи тепlopостачання», зокрема критерію забезпечення використання мінімум 50% сукупності відновлюваної енергії, відпрацьованої (скидної) теплоти та теплоти від когенерації. Це сприятиме економії паливно-енергетичних ресурсів, поліпшенню екологічного стану довкілля в місті та досягненню цілей «зеленого курсу» країни.

## **ШЛЯХИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА КРИВОГО РОГУ**

В 2024–2025 роках була розроблена нова Схема теплопостачання міста Кривого Рогу на період до 2034 року, спрямована на підвищення надійності, якості і енергоефективності теплопостачання споживачів міста. В цій Схемі представлені оптимізовані технічні рішення щодо теплопостачання міста з врахуванням перспективних потреб у тепловій енергії, існуючого стану та розвитку джерел генерації теплової енергії та теплових мереж, розвитку технологій виробництва теплової енергії для потреб теплопостачання міста, можливостей використання відновлюваних видів палива та альтернативних джерел енергії.

В результаті впровадження заходів схеми теплопостачання передбачається підвищення ефективності споживання основного палива – природного газу, та введення у паливний баланс системи централізованого теплопостачання (СЦТ) міста альтернативних видів палив та енергії: паливо з відходів (ТПВ/RDF/SRF), електроенергія, сонячна енергія, скидна теплота тощо. Очікується скорочення витрат палива на виробництво та відпуск теплової енергії, та відповідно скорочення валових та питомих викидів забруднювальних речовин та парникових газів.

Проект Схеми теплопостачання міста Кривого Рогу був розглянутий та погоджений 05 червня 2025 року на засіданні Комісії Мінрегіону України з погодження схем теплопостачання населених пунктів з кількістю жителів більше як 20 тисяч осіб і регіональних програм модернізації систем теплопостачання (протокол № 3 від 05.06.2025 р., наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 07.07.2025 р. № 97/ДСК).

Паралельно з розробленням Схеми теплопостачання міста Кривого Рогу на період до 2034 року, з врахуванням концептуальних напрямків

розвитку системи централізованого теплопостачання міста, закладених в основу цієї Схеми теплопостачання, в місті була розроблена Програма енергоефективності та декарбонізації м. Кривого Рогу на період 2024–2035 років, схвалена рішенням Виконавчого комітету Криворізької міської ради від 23.08.2024 р. № 1041<sup>1</sup>. Метою цієї Програми є підвищення рівня енергоефективності та втілення енергоефективних заходів (проектів) раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів у бюджетній сфері, закладах охорони здоров'я, житлово-комунальному господарстві, комунальних підприємствах та у багатоквартирних житлових будинках, модернізація енергетичної інфраструктури, збільшення частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел, та екологічно чистих видів палива в енергетичному балансі міста, підвищення енергетичної стійкості та надійності, а також скорочення викидів вуглекислого газу.

В результаті виконання Програми очікується зокрема підвищення енергоефективності й економія теплової та електричної енергії на 20%, підвищення енергетичної стійкості та надійності комунальних підприємств теплопостачання, водопостачання і водовідведення, збільшення частки альтернативної енергетики до 30%, зниження викидів вуглекислого газу до 35%.

З огляду на прийняття в Україні Закону «Про засади кліматичної політики», що ставить гармонізовану з «Європейським Зеленим Курсом» ціль досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року, необхідним є подальше скорочення антропогенних викидів парникових газів в усіх сферах діяльності міста.

В умовах збройної російської агресії проти України, впровадження воєнного стану в країні, значних пошкоджень інфраструктури, в тому числі об'єктів енергопостачання, традиційні пріоритети економічної та екологічної ефективності розвитку зокрема системи теплопостачання міста вимушено поступилися місцем забезпеченню можливості та надійності задовільнення потреб споживачів у тепловій енергії.

Однак, через відмову від російського викопного палива, а також часткового пошкодження української системи газовидобування, деякі аспекти декарбонізації в цих умовах стали ще більш актуальними, зокрема перехід на альтернативні джерела енергії, тобто шляхи вирішення задач енергетичної безпеки та кліматичної безпеки в значній мірі поєднались.

<sup>1</sup> [https://so.kr.gov.ua/ua/treezas\\_so/pg/653987777\\_d2/](https://so.kr.gov.ua/ua/treezas_so/pg/653987777_d2/)

Це отримало відображення в проєкті перехідної допомоги Німецького товариства міжнародного співробітництва (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH) «Посилення стійкості міст у сферах інфраструктури постачання та житла» (Strengthening of Urban Resilience in the Areas of Supply Infrastructure and Housing (SUR)), в рамках якого в 2023 році розпочав діяльність проєкт «Реформування сектору централізованого теплопостачання в Україні (ReWarm)». Цей проєкт підтримує розроблення національної стратегії розвитку відновлюваної енергетики та адаптацію нормативно-правової бази, а також пілотне впровадження адаптованих бізнес-моделей для муніципальних компаній у сфері відновлюваної енергетики. Цим компаніям та міським адміністраціям надаються консультації щодо впровадження запланованих заходів з підвищення енергоефективності та скорочення викидів CO<sub>2</sub>. Набутий досвід буде доступний для всіх муніципальних теплопостачальних компаній.

Пілотними містами для реалізації проєкту були обрані Кривий Ріг та Чернігів. На цей час зокрема реалізується пілотний проєкт «Підтримка м. Кривого Рогу на шляху до декарбонізації централізованого теплопостачання та підвищення стійкості системи теплопостачання», спрямований на досягнення стійкості, енергоефективності, сталості та повної декарбонізації системи теплопостачання м. Кривого Рогу до 2050 року.

Українським партнером цього проєкту є Відокремлений підрозділ «Київський обласний експертний центр енергоефективності» Державного підприємства «Київоблбудінвест», який об'єднав фахівців Інституту промислової екології, Інституту технічної теплофізики НАН України та деяких інших організацій.

В процесі виконання проєкту проведений аналіз потенційних джерел, які могли б забезпечувати споживачів міста тепловою енергією з нульовими викидами парникових газів (CO<sub>2</sub>) до 2050 року, з урахуванням вимог оновленої Директиви (ЄС) 2023/1791 від 13.09.2025 р. «Про енергоефективність».

Всі методи досягнення вуглецевої нейтральності виробництва теплової енергії для систем централізованого теплопостачання, в тому числі міста Кривого Рогу, можна розділити на дві великі групи:

- скорочення використання палива для виробництва теплової енергії;
- заміщення викопного палива на карбононейтральні види палив та енергії.

Основними напрямками скорочення використання палива для виробництва теплової енергії є скорочення потреб та відповідно споживання теплової енергії, яке може відбуватись за рахунок як природних, так і антропогенних чинників.

Головним природним чинником в наш час є глобальні зміни клімату. Проведене моделювання прогнозованих температурних параметрів для м. Кривого Рогу на період 2025–2050 років продемонструвало чітку тенденцію до підвищення характеристичних температур та зменшення протяжності опалювального періоду, та відповідно до зменшення потреб у тепловій енергії на опалення орієнтовно на близько 20%.

Антропогенними чинниками скорочення потреб у тепловій енергії споживачів СЦТ м. Кривого Рогу є заходи з підвищення енергетичної ефективності споживання енергії, до яких відносяться комплексна термомодернізація будівель, встановлення індивідуальних теплових пунктів (ІТП), а також заміна/реконструкція магістральних та розподільчих теплових мереж, впровадження знижених температурних графіків роботи теплових джерел та мереж, та підвищення коефіцієнту використання палива в джерелах генерації теплової енергії.

Загалом за рахунок природних і антропогенних чинників можливо досягти скорочення використання палива в СЦТ міста (за консервативними оцінками):

- за рахунок зміни клімату – 20%, – буде досягнуто зниження потреби до 80% вихідної потреби;
- за рахунок утеплення будівель – 25%, – буде досягнуто зниження потреби до 60% вихідної потреби;
- за рахунок заміни теплових мереж – 20%, – буде досягнуто зниження потреби до 48% вихідної потреби;
- за рахунок встановлення ІТП – 10%, – буде досягнуто зниження потреби до 43,2% вихідної потреби.

Зниження споживання палива котельнями передбачається досягти за рахунок заміни/реконструкції котлів, палиникових пристроїв, впровадження сучасних приладів та систем автоматики для діагностики та регулювання процесів спалювання палива, впровадження глибокої утилізації теплоти димових газів котлів з встановленням конденсаційних теплоутилізаторів. З огляду на неадитивність цих ефектів, інтегральна економія палива на теплоджерелах може досягти 12–20% від обсягів його споживання, які мають бути визначені в результаті оцінки обсягів заміщення споживання природного газу іншими джерелами.

Заміщення викопного палива в м. Кривому Розі (на цей час використовується тільки природний газ) на вуглецевонеїтральні види палив та енергії можливе за наведеними нижче шляхами.

### ***Використання сонячної енергії***

Середньорічна інсоляція в м. Кривому Розі становить 3,44 кВт·год на 1 м<sup>2</sup> поверхні на добу. Сонячне випромінювання може використовуватись для вироблення як теплової, так і електричної енергії, з застосуванням двох типів систем:

- Сонячні теплові системи. ККД сучасного сонячного колектора становить до 82%, тепла потужність – близько 0,775 кВт/м<sup>2</sup>.
- Сонячні системи для отримання електроенергії. ККД сучасного сонячного фотогальванічного модуля становить до 24%.

ККД сонячного теплового колектора майже в чотири рази вище, ніж ККД сонячного фотоелектричного модуля, що свідчить про більшу ефективність першого в перетворенні сонячної енергії в теплову.

Використання енергії сонця шляхом встановлення сонячних колекторів на дахах будівель та в інших придатних місцях за їх наявності, в комбінації з встановленням баків-накопичувачів, можна пропонувати в першу чергу для житлових будинків з відновленням гарячого водопостачання на локальному рівні, а також для закладів, що споживають значну кількість теплової енергії в літні місяці (басейни, лікарні тощо). Це дозволить суттєво скоротити витрати на енергоносії для цих цілей.

Однак слід зауважити, що найбільшої ефективності сонячні колектори досягають саме у літні місяці, протягом же опалювального періоду їх ефективність значно менша, температури нагрівання теплоносія недостатні для безпосереднього використання в системах опалення, можливий лише підігрів зворотного теплоносія, що хоча й призводить до зменшення витрат палива на його догрів, але знижує ККД котла.

Більш доцільним можна вважати будівництво сонячних електростанцій з встановленням фотогальванічних панелей на дахах будівель потужних котельень, та акумуляторів електричної енергії. Отримана «зелена» електроенергія буде використовуватись для власних потреб теплових джерел, безпосереднього живлення електричних котлів, а також живлення теплових насосів на різних видах низькопотенційної теплоти. Використання енергії сонця для генерації електроенергії є також важливим з позицій скорочення споживання електроенергії із загальної електромережі та забезпечення резервного енергоживлення об'єктів системи теплопостачання та іншої критичної інфраструктури.

## ***Використання біомаси***

Значні лісові масиви поблизу м. Кривого Рогу відсутні, доступ до лісової біомаси є обмеженим кількісно та логістично. Найбільш реальним джерелом паливної біомаси для СЦТ міста можуть бути деревні відходи деревообробної промисловості та зелених насаджень міста, а також сільськогосподарські відходи з розташованих поблизу угідь, зокрема солома, соняшникове лушпиння тощо, але використання такого палива потребує створення відповідної інфраструктури та технологій, в тому числі логістичних, спалювальних, очисних тощо, тобто значних додаткових витрат.

Деревинні відходи деревообробної промисловості в м. Кривому Розі утворюються з значних обсягах при обробці сирової деревини (лісопилне та стругальне виробництво, до 35% відходів) на трьох підприємствах, крім того, в місті утворюються деревинні відходи від діяльності підприємств інших профілів, в невеликому загальному обсязі на рівні до 1 тис. т/рік.

Деревинні садово-паркові відходи утворюються в обсягах до 20 тис. т/рік, на цей час подрібнюються і вивозяться на полігон твердих побутових відходів.

В місті вже наявний досвід використання рослинного біопалива – на Північному та Центральному ГЗК вже частково замінили природний газ на лушпиння соняшника.

В подальшій перспективі можливо передбачити використання біомаси також від вирощування енергетичних культур, зокрема на рекультивованих земельних ділянках колишніх кар'єрів і полігонів, та на невикористовуваних сільськогосподарських угіддях, розташованих в межах логістичної доцільності доставки до міста.

## ***Використання твердих побутових відходів***

Щороку в м. Кривому Розі утворюється близько 300 тис. т побутових відходів, з яких централізовано збирається та вивозиться близько 230–240 тис. т. На цей час розміщення твердих побутових відходів (ТПВ) здійснюється на двох полігонах: в районі шахти «Валявко-Південна» і в районі відвалів шахти «Батьківщина».

Згідно проєкту «Нове будівництво комплексу з перероблення, знешкодження та складування твердих побутових відходів у Металургійному р-ні міста Кривого Рогу Дніпропетровської області», що розробляється в місті, та передбаченого в «Схемі теплопостачання м. Кривого Рогу» впровадження також наступного ступеня перероблен-

ня відходів – будівництва технологічних потужностей з енергетичного відновлення залишкових твердих побутових відходів (ТПВ) та палива з них – фактично ТЕЦ на RDF/SRF (RDF – Refuse Derived Fuel, SRF – Solid Recovered Fuel), з розташуванням на вже виділених двох суміжних земельних ділянках загальною площею 45,7 га, за рахунок використання енергетичного потенціалу твердих побутових відходів міста можливо замінити близько 5% поточного споживання викопного палива, або відповідно близько 10% прогнозного його споживання у 2050 році.

Передбачається подальше збільшення потужності цього комплексу до можливості перероблення практично всіх ТПВ, які доцільно буде зібрати в місті та вивезти на переробку, тобто орієнтовно 220–240 тис. т ТПВ на рік, що надасть змогу отримувати близько 200 тис. Гкал/рік теплової енергії, або практично третину прогнозних потреб у 2050 році.

### ***Використання невикопних горючих газів***

В якості невикопного газового палива для СЦТ м. Кривого Рогу доцільно розглядати зокрема біогаз (з полігону ТПВ, від компостування відходів тваринництва та харчової промисловості), супутні гази металургійних підприємств (від металургійного та коксохімічного виробництва), біометан, воденьвмісткі гази (синтетичний метан).

Для спалювання біометану та синтетичного метану можливе використання існуючого пальникового та топкового обладнання без змін, обладнання для спалювання біогазу вже достатньо апробоване, для супутніх газів може бути використане аналогічне обладнання.

Доступний обсяг використання такого газового палива можна оцінити на цей час у 2–4% загальних витрат палива, та у подальшій перспективі – очікувати його збільшення за рахунок використання біометану, виробництво якого вже розпочато в Україні, до повного забезпечення потреб у паливі для генерації теплової енергії для теплопостачання міста (загальний потенціал України з виробництва біометану оцінюється у 22 млрд м<sup>3</sup> на рік, що навіть дещо перевищує теперішнє загальне використання природного газу в країні за рік).

### ***Використання скидної теплової енергії промислових підприємств***

Використання скидної теплової енергії промислових підприємств на основі застосування традиційних теплообмінних апаратів та/або теплових насосів є найбільш економічним способом заміщення природного газу в системах централізованого теплопостачання. В м. Кривому Розі наявні декілька промислових підприємств, зокрема потужних підпри-

емств металургійного та гірничодобувного профілів (один з найбільших у світі гірничо-металургійних комбінатів – ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», гірничозбагачувальні (Південний, Північний, Центральний, Новокириворізький та Інгулецький ГЗК) та залізорудні комбінати (ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат», ПАТ «Суха Балка») тощо, на яких утворюється скидна теплота. Сумарно ці підприємства можуть забезпечити відпуск до 400 Гкал/год скидної теплоти, або до 1,3 млн Гкал за опалювальний період, яка може бути використана для теплопостачання споживачів СЦТ міста. Цей обсяг перевищує загальну розрахункову з урахуванням зміни клімату потребу в тепловій енергії для теплопостачання споживачів СЦТ міста Кривого Рогу на 2050 рік в 1,2 рази без врахування заходів зі скорочення потреб у тепловій енергії, та у 2,2 разів з врахуванням таких заходів, при цьому потужності такого сумарного потоку скидної теплоти буде достатньо для забезпечення лише половини базових навантажень, при безпосередньому використанні, але достатньо для забезпечення навіть пікових навантажень при застосуванні теплових насосів для додаткового підігріву теплоносія. Однак реалізація цих заходів потребуватиме значних капіталовкладень на будівництво нових теплових мереж та насосних станцій, і доцільність її має розглядатись для кожного конкретного випадку.

На цей час цей вид енергії в місті не використовується внаслідок низки причин, однією з основних з яких є небажання керівництва таких підприємств брати на себе відповідальність за обов'язковість регулярного постачання теплової енергії, а також економічно не виправдані тарифи та інші наведені вище причини. Однак в цьому напрямку спостерігаються вже деякі позитивні просування, так, на цей час розглядається можливість постачання скидної теплоти від металургійного підприємства ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», в обсягах орієнтовно близько 200 Гкал/год, що буде дуже суттєвим внеском у забезпечення теплопотреб споживачів СЦТ міста.

### ***Використання теплового потенціалу низькопотенційних джерел***

В м. Кривому Розі доцільно розглядати використання теплового потенціалу таких низькопотенційних джерел як водойми (річка Інгулець), шахтні води (ставок-накопичувач шахтних вод в балці Свистунова тощо), каналізаційні стоки міських станцій аерації, навколишнє повітря, а також відхідні гази когенераційних та теплоутилізаційних установок.

Для використання теплового потенціалу цих джерел доцільно застосувати теплонасосні технології, які вже добре апробовані та широко розповсюджені.

Вода річки Інгулець може бути постійним джерелом низькопотенційної теплоти для теплонасосної станції, загальною тепловою потужністю на рівні 15–20 Гкал/год.

Шахтні води в м. Кривому Розі також можуть бути постійним джерелом низькопотенційного теплоносія з температурою в межах 10–15 °С. Загалом в ставок-накопичувач, розташований у балці Свистунова, скидаються високомінералізовані шахтні води в обсягах в середньому близько 13 млн м<sup>3</sup> на рік. Для скидання цих вод у річку Інгулець, поруч із новим магістральним водогоном для водозабору міста будуватиметься ще одна нитка трубопроводу діаметром 1 м довжиною 6,6 км, який має відвести шахтні води нижче водозабору. Потужність майбутнього водогону становить 10,4 млн м<sup>3</sup> на рік, пропускна здатність – 1,3 м<sup>3</sup>/сек. Теплова потужність теплового насосу на цьому водогоні при знятті теплового потенціалу у 5 °С і коефіцієнті перетворення енергії (COP) в діапазоні 3,5–4,0 складатиме на рівні 20–25 Гкал/год.

В м. Кривому Розі існує п'ять комплексів біологічного очищення стічних вод – Центральна станція аерації, Північна станція аерації, Південна станція аерації, Інгулецька станція аерації та станція аерації в селищі Авангард. Середня температура стічних вод в місті становить: влітку: +23...24 °С, взимку +12...14 °С, і не опускається нижче +9 °С. При таких параметрах скидної теплоти коефіцієнт трансформації теплового насоса (COP) може становити від 3 до 4. Теплонасосні станції можуть бути розташовані на територіях існуючих станцій аерації в безпосередній близькості від скидної камери очищених каналізаційних стоків або збірної каналізаційної труби. Сумарна вихідна теплова потужність теплонасосних станцій по всіх 5 станціях аерації може скласти на рівні 12 Гкал/год.

Слід зауважити, що на стадії проектування цих заходів потрібно оцінити доцільність кожного з них з умов наявності споживачів з відповідними потребами теплової енергії в зонах поблизу місць розташування джерел низькопотенційної теплоти.

### ***Використання електричної енергії***

Використання електричної енергії найбільш ефективно і доцільно для живлення теплових насосів, але можливе також і безпосереднє

використання її для нагріву теплоносія (технології резистивного, електродного тощо нагріву).

Можна вважати доцільним суміщення традиційного теплопостачання від котельнь та ТЕЦ з електроопаленням, що використовує профіцит (за його наявності) електроенергії у нічний час. Система такого гібридного теплопостачання може бути як централізованою, так і помірно – децентралізованою та індивідуальною.

У м. Кривому Розі вже доступна частка «зеленої» електричної енергії від відновлюваних джерел в обсязі близько 10% потреб для теплопостачання, до 2050 року можна очікувати впровадження в місті ще щонайменше таких же обсягів – всього до 20%. З огляду на вірогідне розроблення перспективних технологій отримання «зеленої» енергії з доквілля (оприлюднені перші успішні результати експериментів), в припущенні отримання її до 2050 року в достатніх обсягах, можна прогнозувати використання локальних систем електричного нагріву, розташованих безпосередньо поблизу споживачів, зокрема в приміщеннях індивідуальних теплових пунктів або інших.

В такому разі доцільно прокладання електричних мереж достатньої пропускної здатності безпосередньо до споживачів, при цьому потреба в транспортуванні теплоносія відпаде повністю, разом з неминучими супутніми втратами.

Таким чином, в результаті проведеної роботи визначені потенційні потреби міста Кривого Рогу у тепловій енергії, та джерела генерації теплової енергії, які здатні забезпечувати споживачів міста Кривого Рогу централізованим опаленням та щонайменше частковим (локальним) гарячим водопостачанням із нульовими викидами парникових газів (CO<sub>2</sub>) до 2050 року, в тому числі з задовільненням вимог критеріїв нової Директиви з енергоефективності (ЄС) 2023/1791, з повним задовільненням перспективних потреб в тепловій енергії.

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

*Інститут газу НАН України, м. Київ*

## **ЗАМІЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ВІДНОВЛЮВАНИМИ АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ГАЗОВИМИ ПАЛИВАМИ В ІСНУЮЧИХ ПАРОВИХ ТА ВОДОГРІЙНИХ КОТЛАХ**

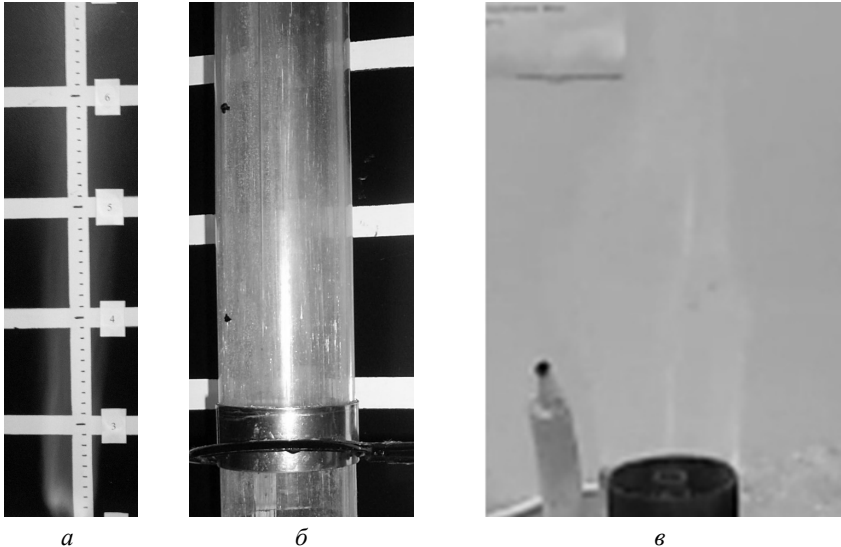
### **1. Вступ**

В Європейському Союзі дійшли згоди, що розширення використання викопного газового палива, яке буде заміщати викопне тверде та рідке, відповідає стратегії поступового переходу від вуглецевої до безвуглецевої економіки. Так, розширення використання викопного газового палива передбачено для таких цілей: а) виробництво електроенергії; б) високоефективна когенерація тепла/холоду; в) виробництво тепла/холоду в ефективній системі централізованого теплопостачання та охолодження. Кожен вид діяльності, пов'язаний з викопним газовим паливом, повинен відповідати певним пороговим значенням викидів, замінювати існуючий вугільний об'єкт, який не може бути замінений відновлюваними джерелами енергії, досягати певних цілей щодо скорочення викидів та повністю перейти на відновлювані або низьковуглецеві гази до 2035 року [1]. При цьому енергетична стратегія України до 2050 року ґрунтується на досягненні максимального рівня кліматичної нейтральності, тобто, при неможливості повного вилучення викопних палив, саме газові генерують мінімальні викиди діоксиду вуглецю та інших шкідливих забруднювачів на одиницю виділеної хімічної енергії палива [2–3]. В цій роботі основну увагу приділено встановленню умов горіння та стабілізації для біогазових палив, а також визначення концентрації викидів  $\text{NO}_x$  та  $\text{CO}$  для найбільш, ймовірно, потенційних складів біогазу та газу, що отримується газифікацією біопалива, на ринку.

### **2. Матеріали та методи**

На лабораторному стенді представленому на рис. 1 вивчались умови горіння та стабілізації при спалюванні забаластованих біогазів з різним відсотком домішки діоксиду вуглецю.





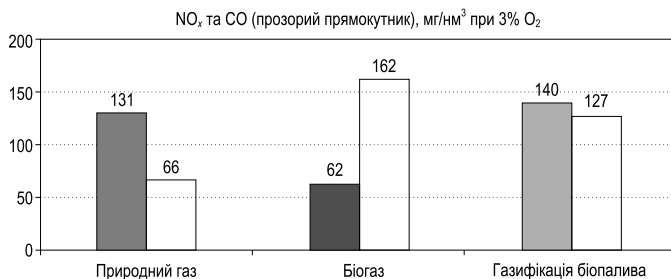
**Рис. 2.** Газові факели та пальниковий пристрій, що вивчались:

*а* – газовий факел з одинарного сопла  $\varnothing 3$  мм; *б* – факел газу в кварцовому жаростійкому каналі (для проведення аналізу димових газів та визначення температури); *в* – модель пальника з кутиковими стабілізаторами.

### 3. Результати та обговорення

Встановлено, що факел затопленого струменю імітатору біогазу (суміш  $\text{CH}_4$  та  $\text{CO}_2$ ) при збільшенні в ньому концентрації діоксиду вуглецю (при незмінній тепловій потужності та діаметрі соплового отвору), поступово стає схильний до зриву і при досягненні близько 50% за об'ємом діоксиду вуглецю – відривається. З певного відсотку діоксиду вуглецю в біогазі виникає розрив між гирлом сопла пальника та нижнім краєм фронту полум'я, що залежить від швидкості витоків та діаметра сопла, тобто, утворюється факел типу «lifted flame». При зменшенні витрати біогазу (при 50% концентрації діоксиду вуглецю) або збільшенні діаметру отвору (зменшується швидкість руху біогазу), стабілізація біогазового факелу покращується і можна отримати стабільний факел без застосування спеціального стабілізатора (кутикового, або вогнетривкої поверхні). Тобто стабільне та надійне спалювання біогазів з низькою концентрацією метану у вихрових пальниках можливе лише у вузькому діапазоні швидкостей, а коефіцієнт регулювання потужності такого пальника буде наближений до одиниці. При застосуванні стабілізатора – вогнетривкої поверхні, рис. 1 поз. 13,

факел стабілізується в усьому діапазоні швидкостей. На рис. 3 наведено рівні утворення оксидів азоту та монооксиду вуглецю, що отримані на лабораторному стенді при усередненні не менш ніж 5 експериментальних замірів.



**Рис. 3.** Результати дослідження горіння різних газових сумішей у дифузійному газовому струмені (найпростіший газовий паливник потужністю 1 кВт) щодо викидів оксидів азоту та монооксиду вуглецю.

З рис. 3 можна зробити висновок, що використання біогазу та газу газифікації біопалива (складів наведених вище), не призведе до збільшення викидів NO<sub>x</sub> при їх використанні в котлах ТЕС, ТЕЦ та котельнях, але при спалюванні біогазу з вмістом CO<sub>2</sub> близьким до 50% за об'ємом потребується застосувати певні конструкції паливників для уникнення утворення монооксиду вуглецю та надійній стабілізації факелу, наприклад, щільний подовий [4-5].

### Висновки

На лабораторному стенді проведено дослідження щодо спалювання перспективних відновлюваних альтернативних газових палив, а саме забаластованих газів-імітаторів біогазу з різним відсотком домішки діоксиду вуглецю та газу-імітатору, що отримується газифікацією біопалива. Встановлено, що використання біогазу та газу газифікації біопалива (наведених в роботі найбільш ймовірно потенційних складів на ринку), не призведе до збільшення викидів NO<sub>x</sub> при їх використанні в котлах ТЕС, ТЕЦ та котельнях. При спалюванні біогазу з вмістом баласту діоксиду вуглецю близько 50% за об'ємом, буде необхідним застосувати певні конструкції паливників для стабільного формування факелу в широкому діапазоні та уникнення утворення монооксиду вуглецю, наприклад, щільний подовий, в якому для стабілізації факелу використовується вогнетривка поверхня.

## Список використаної літератури

1. EU Taxonomy: Complementary Climate Delegated Act to Accelerate Decarbonization European Commission, Brussels, 2 February 2022. URL : [https://finance.ec.europa.eu/publications/eu-taxonomy-complementary-climate-delegated-act-accelerate-decarbonisation\\_en](https://finance.ec.europa.eu/publications/eu-taxonomy-complementary-climate-delegated-act-accelerate-decarbonisation_en).
2. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року / Розпорядження Кабінет Міністрів України від 21 квітня 2023 р. № 373-р. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text>.
3. Сігал І. Я., Сміхула А. В., Марасін О. В., Домбровська Е. П., Лавренцов Є. М. Напрямки підвищення ресурсу і еколого-економічних показників котлів ТЕЦ і районних котельень на природному газі // Збірник праць XXX Міжнародної конференції «Проблеми екології і експлуатації об'єктів енергетики». Київ : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2021. С. 61–64.
4. Сігал І. Я., Сміхула А. В., Марасін О. В. Спалювання біогазу різного походження у котлах підприємств // Збірник праць XXX Міжнародної конференції «Проблеми екології і експлуатації об'єктів енергетики». Київ : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2021. С. 65–68.
5. Smikhula A. V., Sigal I. Ya., Marasin O. V., Sigal O. I. Experimental research of mixing natural gas impinging jets and air during combustion at a vertical refractory surface // Енерготехнології та ресурсозбереження. 2023. № 1. С. 3–13. DOI : 10.33070/etars.1.2023.01.

УДК 621.31

**О. В. Дутка**

*Інститут газу НАН України, м. Київ*

## **РОЗРОБЛЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ТА КОМБІНОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗАСТАРІЛИХ ГАЗОВИХ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

Для сучасного великого міста декарбонізація теплозабезпечення є сферою, яка визначає рівень енергетичної ефективності, незалежності та стійкості.

Декарбонізація систем централізованого теплопостачання (ЦТ) є актуальною темою для країн з розвинутими ЦТ, які були побудовані переважно у попередньому сторіччі та розраховані на використання викопного палива [1].

Перед Україною ставляться теж амбітні цільові показники відносно до Національного плану скорочення викидів [2], які потребують комплексного підходу до скорочення споживання енергії та заміщенні викопного палива на ВДЕ. Оцінка потенціалу заміщення викопного палива ВДЕ та СТЕ виконується у формі реєстру альтернативних джерел енергії [3]. На жаль, на сьогоднішній день відсутня Методологія щодо трансформації застарілих систем централізованого теплопостачання. Для країн Європи це не так важливо, як для України, яка потребує крім трансформації ще й заходів щодо відновлення енергетичного сектору в умовах обмеженого фінансування та постійних обстрілів енергетичних об'єктів з боку росії.

Ключовими проблемами СЦТ є низька енергетична ефективність систем ЦТ та велика залежність від одного виду палива – природного газу. Це створює замкнуте коло причинно-наслідкових зв'язків.

За встановленою потужністю системи ЦТ України є одними з найбільших в Європі. Вони працюють більш ніж у сотні населених пунктах та опалюють майже 100 тисяч будівель загальною площею близько 300 млн м<sup>2</sup>. Загальна кількість котелень в ЦТ Україні – понад 4 тисячі, в них встановлено понад 12,2 тисячі котлів із загальною встановленою потужністю 52,6 ГВт. З них 88% працюють на природному газі.

Понад 90% котелень мають потужність менше 20 МВт, але вони виробляють тільки 37% теплової енергії. 9% котелень мають потужність більше 20 МВт, але вони виробляють 63% теплової енергії.

Кількість потужних котелень  $\geq 20$  МВт відносно не велика – 367 одиниць. Саме ці котельні є основою ЦТ України та платформою для створення стійких балансуючих енерго-екологічно ефективних енергетичних комплексів для виробництва теплової та електричної енергії. Домінуюча частка цих котелень працює на природному газі.

Загальна протяжність теплових мереж у двотрубному вимірі складає близько 21 тисячі кілометрів, але 56% цих мереж потребують заміни. Відсоток трубопроводів з терміном експлуатації понад 30 років становить 57%, а понад 20 років – 66%. Тобто, більшість трубопроводів ТМ потребують заміни на сучасні попередньо ізольовані пінополіуретаном труби. Крім того в СЦТ низький рівень інтеграції теплових мереж (10–35%).

Трансформація такої великої застарілої системи потребує великих фінансових ресурсів, які не можуть бути виділені одночасно, а тільки окремими траншами на протязі тривалого періоду.

Принциповим положенням розробки плану декарбонізації СЦТ великого міста є застосування комплексного підходу, який включає три напрямки для досягнення мети:

- скорочення споживання теплової енергії за рахунок підвищення енергоефективності теплових споживачів та транспортування теплової енергії;
- інтеграція теплових мереж, що забезпечує можливість виробляти «зелену» теплову енергію на деяких теплових джерелах, які мають найкращі умови для декарбонізації, і транспортувати цю енергію на інші джерела енергії, які мають гірші умови для декарбонізації;
- заміщення виробництва теплової енергії на джерелах, які працюють на викопному паливі, джерелами, які використовують ВДЕ та СТЕ.

Напрямок скорочення споживання теплової енергії включає: термомодернізацію будівель та покращення рівня керування теплоспоживанням за рахунок встановлення сучасних ІТП, зменшення втрат в теплових мережах за рахунок оптимізації діаметрів і заміни аварійних / зношених труб на сучасні попередньо ізольовані труби.

Раптовий перехід до декарбонізації неможливий через великі фінансові, технічні та часові фактори. Існуючі газові котельні треба розглядати як базові платформи для нарощування мінливих ВДЕ так як вони мають у своєму складі газові, електричні, теплові мережі та можуть мати певні площадки для розміщення ВДЕ.

Тому на перехідний період пропонується розглядати газові котельні як зручні платформи для декарбонізації шляхом розробки комбінованих джерел енергії у складі газових котлів та/або КГУ спільно ВДЕ та акумулюванням енергії.

Визначення пріоритетних об'єктів декарбонізації СЦТ модельного міста є важливою складовою запропонованої методології. Пріоритетні об'єкти визначаються із врахуванням таких положень та показників:

- розглядаються не тільки джерела теплової енергії, а взагалі тепло-гідравлічні кластери, які включають теплові мережі та теплових споживачів;
- тепло-гідравлічні кластери повинні відповідати вимогам щільності теплового навантаження та лінійної щільності теплоти щодо обґрунтованого застосування СЦТ;
- наявність потенціалу заміщення природного газу ВДЕ та СЕР;
- наявність систем централізованого ГВП, а також перспектив впровадження централізованих систем охолодження, що суттєво

підвищує інвестиційну привабливість такого теплогідралічного кластеру.

Подальше удосконалення стратегії може бути досягнуто за рахунок цілісного підходу до електропостачання, централізованого теплопостачання, будівель, підключених до ЦТ, та комунальної інфраструктури, застосування комбінованих джерел відновлюваних джерел енергії з використанням природного газу як палива перехідного періоду, розробки інструментів та стимулів активізації процесів декарбонізації ЦТ, визначення ключових об'єктів декарбонізації великих систем ЦТ, створення бібліотеки економічних обґрунтувань типових проєктів декарбонізації, забезпечення сприятливих умов для доступу третіх сторін до теплових мереж ЦТ, розробки ефективних планів перехідного періоду.

### Список використаної літератури

1. Nikitin Y., Dutka O. Transformation of outdated district heating systems // Energy Technologies and Resource Saving. 2025. № 3. P. 65–79. DOI : 10.33070/etars.3.2025.05. URL : <https://etars-journal.org/index.php/journal/article/view/474>
2. Про Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок. Розпорядження КМУ від 8 листопада 2017 р. № 796-р. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-2017-%D1%80#Text>
3. Карп І. М., Нікітін Є. Є., П'яних К. Є., Дутка О. В. та ін. Стан та шляхи розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні : Монографія. Том 1 (проєкт «Наукова книга»). Київ : Наук. думка, 2021. 264 с.

УДК 621.31

**Є. Є. Нікітін, О. В. Дутка**

*Інститут газу НАН України, м. Київ*

## **ТРАНСФОРМАЦІЯ ЗАСТАРІЛИХ ГАЗОВИХ КОТЕЛЕНЬ ЗІ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ, КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК ТА АКУМУЛЯТОРІВ ЕНЕРГІЇ**

В системах централізованого теплопостачання Україні функціонує біля 4 тисяч котелень і 12 тисяч котлів, які працюють переважно на природному газі. Більшість котлів застаріли і потребують заміни. Заміна застарілих газових котлів (ГК) на аналогічне обладнання не

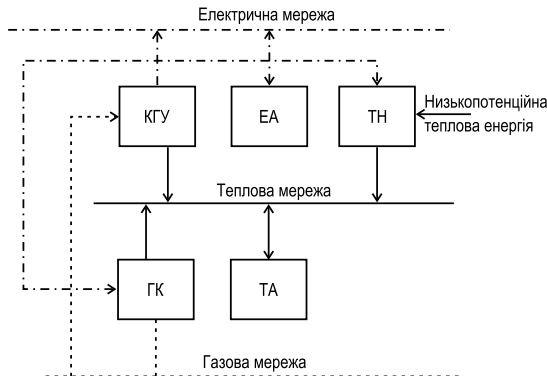
відповідає сучасним вимогам декарбонізації, а в перспективі, при збільшенні ціни природного газу, і критерію економічної доцільності.

Існує багато варіантів трансформації застарілих газових котельень з використанням сонячної енергії, теплових насосів (ТН), газових когенераційних установок (КГУ), теплових (ТА) та електричних (ЕА) акумуляторів.

Застосування сонячної енергії для виробництва електричної та теплової енергії є перспективним напрямком.

Але застосування сонячної енергії може бути реалізовано тільки при наявності великих вільних площ для розміщення фотоелементів та(або) сонячних колекторів, що на практиці існує тільки у окремих випадках. Тому цей напрямок не можливо розглядати як універсальний та типовий.

У якості типового універсального напрямку трансформації існуючих застарілих газових котельень можливо розглядати застосування балансуєчих енергетичних комплексів (БЕК), структура яких представлена на схемі (рисунок). Існуючі ГК розглядаються як пікові (резервні) джерела теплової енергії. В якості основного джерела теплової енергії розглядаються ТН типу «повітря–вода», які не потребують наявності великих додаткових площ і використовують низькопотенційну енергію оточуючого середовища. У якості додаткового джерела енергії розглядаються газові КГУ з електричної потужність яка відповідає потребі для живлення ТН, ГК, мережевих насосів та можливості продажу електричної енергії в загальну мережу. Для забезпечення високої балансуєчої спроможності БЕК та функціонування за раціональними графіками теплового та електричного навантаження встановлюються добові ТА та ЕА необхідної ємності та потужності.



**Рисунок.** Принципова схема балансуєчого енергетичного комплексу (БЕК).

Оптимізація встановлених потужностей та графіків роботи ТН, КГУ, ТА, ЕА здійснюються за допомогою застосування техніко-економічної моделі за критерієм максимізації добового доходу від функціонування енергетичного комплексу та мінімізації LCOE.

БЕК функціонують за такими основними принципами. Теплова енергія виробляється за температурним графіком. Основна частка теплової енергії виробляється ТН та КГУ. Скидна теплова енергія КГУ може бути використана для підвищення температурного рівня теплової енергії від ТН. В холодні періоди опалювального сезону можуть бути використані ГК. В залежності від ціни електричної енергії у загальної електричної мережі ТН може житися або з цій мережі, або від власної КГУ. При наявності збиткової кількості теплової енергії від КГУ вона акумулюється в ТА, а потім подається в теплову мережу. У деякі періоди часу, коли електричну енергію не вигідно продавати у електричну мережу вона акумулюється в ЕА, а потім використовується для власних потреб або продається в електричну мережу.

УДК 662.61,536.24:533

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

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ЕКОЛОГОЕФЕКТИВНИХ ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОТЛІВ**

Рециркуляція відхідних димових газів котла в його топковий простір є ефективним способом екологізації котельних установок. Цей спосіб може суттєво знижувати викиди  $\text{NO}_x$  у вказаних установках [1, 2]. Зменшення концентрації оксидів азоту  $\text{NO}_x$  пов'язано зі зниженням температури горіння завдяки зменшенню швидкості ланцюгових реакцій внаслідок наявності інертних газів і зниження концентрацій реагуючих речовин. Найбільший ефект пригнічення утворення оксидів азоту досягається при надходженні всього обсягу рециркульованих

газів у зону горіння у разі повного їх попереднього перемішування з дуттьовим повітрям.

Застосування способу рециркуляції димових газів у дуттьове повітря для котлів відносно невеликої теплопродуктивності, які не оснащені повітронагрівачами, пов'язане з певними труднощами щодо забезпечення дієвості даного способу в усіх режимах експлуатації котла [3]. До того ж, рециркуляція димових газів призводить до перевитрат палива в котлі, а відтак і до зниження його ККД через витрати палива на нагрівання введеного баласту (рециркульованих газів).

Однак, неукліне зростання вартості палива та підвищення вимог щодо покращення умов довкілля спонукає до пошуку нових ефективних рішень екологоенергоощадних технологій і для котлів відносно невеликої теплопродуктивності, що не оснащені повітронагрівачами.

Метою роботи є дослідження основних теплових показників опалювальних котельних установок з комбінованими системами теплоутилізації та без них при рециркуляції відхідних димових газів у дуттьове повітря.

Дослідження виконувались для газотрубного котла системи опалення з розрахунковою температурою навколишнього середовища мінус 20 °С у різних режимах його експлуатації та за різних часток підмішування димових газів у дуттьове повітря. Вихідні дані для виконання розрахунків наведено в таблиці.

*Таблиця*

### **Вихідні дані**

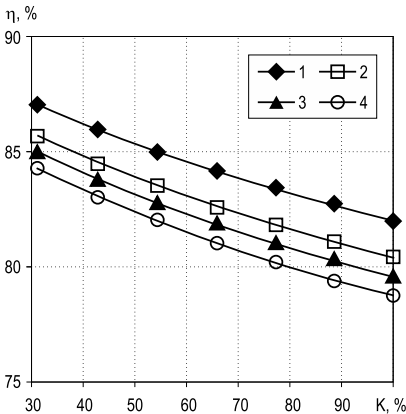
<b>Найменування характеристики, розмірність</b>	<b>Значення</b>
Номінальна теплопродуктивність котла, МВт	2
Відносна теплопродуктивність котла, %	30–100
Температура газів на виході у номінальному режимі, °С	160
ККД котла за нижчою теплотою згорання палива, %	92
Температурний перед в системі опалення, °С	25
Температура атмосферного повітря, °С	-20...+10
Частка підмішування димових газів у дуттьове повітря, %	10–20

Водогрійним теплоутилізатором слугував теплообмінник з пучком оребрених біметалевих труб (сталева основа та оребрення з алюмінію). Розглядалися труби з внутрішнім діаметром 25 мм, висотою оребрення

11 мм та міжреберним кроком 3,5 мм. Поверхня теплообміну повітрогрійного теплоутилізатора компонувалась з пакетів пластин з нержавіючої сталі. Товщина пластин становила 2 мм, а крок між ними – 10 мм.

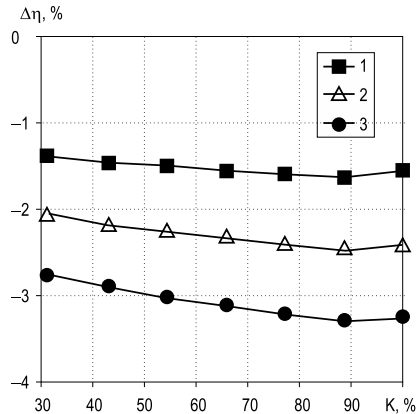
Виконано розрахункові дослідження закономірностей зміни ККД  $\eta$  котельної установки без системи теплоутилізації за умов рециркуляції відхідних газів в холодне дуттьове повітря для двох розглянутих ситуацій: при дотриманні рівня температури  $T_B^{np}$  нагріваної прямої води котла згідно з тепловим графіком котельні ( $T_B^{np} = \text{const}$ ) та при дотриманні витрати газу  $B_p$  на котел на рівні значень без застосування рециркуляції ( $B_p = \text{const}$ ). За результатами досліджень для обох розглянутих варіантів величина ККД котла зменшується зі збільшенням відносного навантаження котла  $K$  та частки  $\sigma$  рециркулювання газів. При чому, при  $B_p = \text{const}$  зменшення ККД дещо менше, ніж при  $T_B^{np} = \text{const}$ . Зниження ККД котла викликано зменшенням його теплопродуктивності через зниження теплового напору в топці котла в результаті зниження адиабатної температури горіння. На рис. 1, до прикладу, наведено результати досліджень при  $T_B^{np} = \text{const}$ .

На рис. 2 наведено рівні зменшення ККД котла  $\Delta\eta$  в залежності від частки рециркуляції  $\sigma$  при  $T_B^{np} = \text{const}$ .



**Рис. 1.** Залежність ККД котла  $\eta$  від його відносного теплового навантаження  $K$  при різних частках  $\sigma$  рециркулюваних відхідних газів котла при  $T_B^{np} = \text{const}$ :

1 –  $\sigma = 0\%$ ; 2 –  $10\%$ ; 3 –  $15\%$ ; 4 –  $20\%$ .



**Рис. 2.** Залежність зменшення ККД котла  $\Delta\eta$  від його відносного теплового навантаження  $K$  без застосування системи теплоутилізації за різних часток  $\sigma$  рециркулюваних газів:

1 –  $\sigma = 10\%$ ; 2 –  $15\%$ ; 3 –  $20\%$ .

Як видно, при  $\sigma = 10\%$  ККД котла зменшується на 1,3–1,6%, при  $\sigma = 15\%$  – це зменшення відповідає величині 2,0–2,4%, а за умов зростання частки  $\sigma$  до 20%, зниження ККД має найбільше значення 2,8–3,1%.

Виконано також дослідження теплових показників розглянутої котельної установки з комбінованою системою теплоутилізації, призначеною для попереднього нагрівання тепломережної води та дуттьового повітря перед надходженням їх до котла [4]. Використання в схемі повітрянагрівача сприятиме запобіганню конденсації в повітряному каналі котла. До того ж, застосування теплоутилізаційної системи також підвищуватиме ефективність використання палива в таких установках. За результатами досліджень щодо рівнів підвищення ККД в досліджуваній екологічно ефективній котельній установці з запропонованою системою теплоутилізації результуючий приріст ККД становить 1,5–4,5% в залежності від значень  $K$  та  $\sigma$ .

### Список використаної літератури

1. Глушенко О. Л., Богданович Д. В. Дослідження роботи промислових котельних агрегатів з метою розробки заходів щодо зниження шкідливих викидів у навколишнє середовище. Conference Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Academic Research and Innovation. Dallas, USA, 13–15 January 2021. (pp. 9–17). [https://ispic.ngo-seb.com/assets/files/1\\_conf\\_13\\_15.01.2021.pdf](https://ispic.ngo-seb.com/assets/files/1_conf_13_15.01.2021.pdf).
2. Михайленко В. С., Щербінін В. А., Лещенко В. В., Харченко Р. Ю., Ложечнікова Н. В. Моделювання процесу утворення шкідливих викидів у вихідних газах судових парових котлів // Інформатика та математичні методи в моделюванні. 2020. Т. 10, № 3–4. С. 154–166. <https://doi.org/10.15276/imms.v10.no.3-4.154>
3. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Шевчук С. І., Абдулін М. З. Особливості експлуатації екологічно ефективних котельних установок комунальної теплоенергетики // Теплофізика та теплоенергетика. 2023. Т. 45, № 2. С. 55–62. <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2023.6>
4. Комбіновані теплоутилізаційні системи для газоспоживальних котлів комунальної теплоенергетики : монографія / Н. М. Фіалко та ін. Київ : Про формат, 2019. 192 с.

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

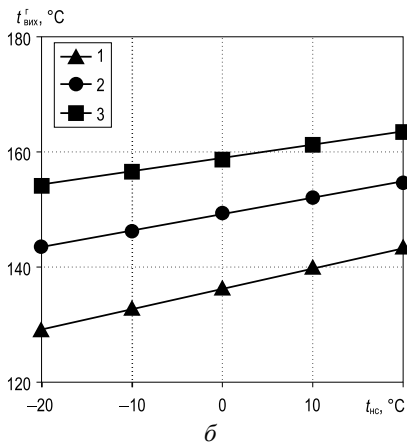
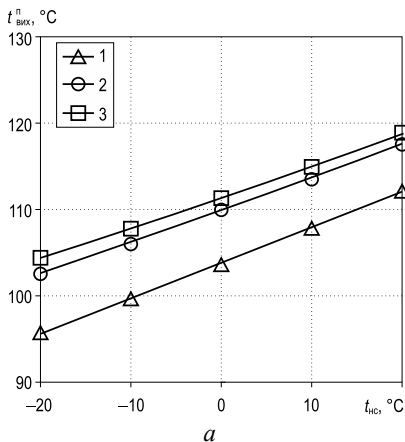
*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ВПЛИВ ЗАПИЛЕНОСТІ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОГО УСТАТКУВАННЯ СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК**

Корисне використання скидної теплоти димових газів сміттєспалювальних установок пов'язано з певними труднощами, зумовленими вмістом в них пилу і хімічно агресивних речовин. Зокрема, за літературними даними [1, 2] у димових газах містяться у газоподібному стані сполуки хлору, фтору, аміаку, азоту тощо, а також твердий виніс різного хімічного та фракційного складу. Тому при створенні теплоутилізаційного устаткування цих установок велика увага приділяється можливості його експлуатації на запилених потоках та можливості очищення робочих поверхонь від відкладень технологічного пилу. В роботі [3] наведено інформацію про таке спеціальне повітрогрійне устаткування (теплоутилізатор) для використання для установок спалювання твердих побутових відходів. Цей теплоутилізатор характеризується високою тепловою ефективністю, стійкістю робочих поверхонь до корозійної дії димових газів, можливістю часткового самоочищення цих поверхонь від відкладень пилу та у разі необхідності примусового їх очищення тощо.

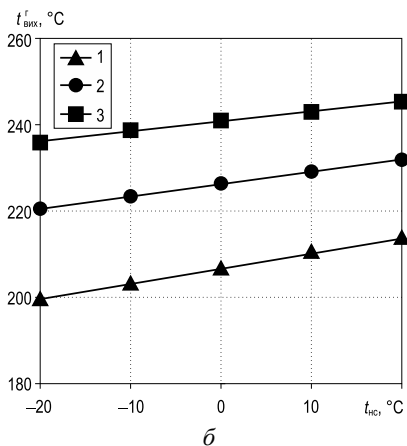
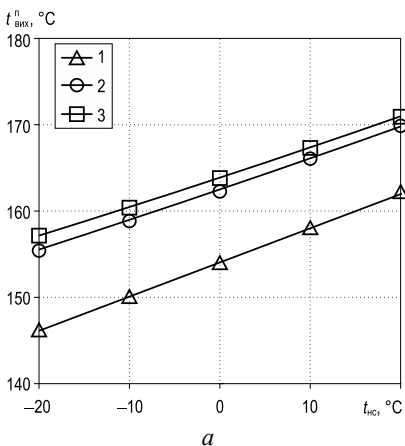
Дана робота присвячена дослідженням щодо впливу запиленості газового потоку на ефективність вказаного повітрогрійного устаткування. Вихідні параметри для теплових розрахунків теплоутилізатора приймалися в практичному діапазоні на 1 т/год спалюваних побутових відходів, згідно [2, 3]. Результати визначення основних характеристик теплоутилізатора за наявності відкладень пилу на його теплообмінній поверхні наведено на рис. 1 і 2.

Дані подано за умови прийнятого в дослідженнях максимального значення коефіцієнта запиленості поверхні нагрівання, який відповідає зменшенню вдвічі коефіцієнта теплопередачі теплообмінної поверхні.



**Рис. 1.** Залежність для запиленої поверхні нагрівання температур повітря  $t_{Вих}^n$  (а) та димових газів  $t_{Вих}^r$  (б) на виході з теплоутилізатора від температури навколишнього середовища  $t_{нс}$  при різних коефіцієнтах надлишку повітря та температурі відхідних газів на вході  $t_{ВХ}^r = 200$  °С:

1 –  $\alpha = 1,5$ ; 2 –  $\alpha = 2,0$ ; 3 –  $\alpha = 2,5$ .



**Рис. 2.** Залежність для запиленої поверхні нагрівання температур повітря  $t_{Вих}^n$  (а) та димових газів  $t_{Вих}^r$  (б) на виході з теплоутилізатора від температури навколишнього середовища  $t_{нс}$  при різних коефіцієнтах надлишку повітря та температурі відхідних газів на вході  $t_{ВХ}^r = 300$  °С:

1 –  $\alpha = 1,5$ ; 2 –  $\alpha = 2,0$ ; 3 –  $\alpha = 2,5$ .

Аналіз отриманих результатів свідчить, що значення кінцевої температури нагріваного повітря зменшуються при запиленій поверхні в 1,3–1,4 рази. За цих умов підвищується кінцева температура димових газів в 1,1–1,2 рази, що свідчить про недостатній рівень використання їхньої теплоти і необхідність здійснення очищення поверхні теплообміну від відкладень пилу. Можливість примусового видалення цих відкладень передбачено конструкційним виконанням теплоутилізатора. У разі потреби примусове видалення відкладень можна здійснювати при різних рівнях запиленості поверхні.

Загальні розрахункові значення основних характеристик теплоутилізатора за розглянутих умов наведено в таблиці.

*Таблиця*

***Розрахункові характеристики теплоутилізатора***

<b>Найменування характеристики, розмірність</b>	<b>Значення</b>
Теплопродуктивність, кВт	72–274
Температура газів на виході, °С	103–245
Вологовміст димових газів на виході, °С	120–180
Витрата повітря, кг/с	1,2–0,7
Температура повітря на виході, °С	96–230
Аеродинамічний опір газового тракту, Па	207–315
Аеродинамічний опір повітряного тракту, Па	101–272
Габаритні розміри, мм: Д×Ш×В	1400×800×1000
Маса, кг	500

За результатами виконаних досліджень діапазон зміни теплопродуктивності теплоутилізатора 72–274 кВт відповідає охолодженню димових газів до температури 103–245 °С і нагріванню повітря до 96–230 °С.

**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. 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.
3. Фіалко Н. М., Гнедаш Г. О., Шевчук С. І., Новаківський М. О., Глушак О. Ю. Повітрогрійне теплоутилізаційне устаткування для сміттєспалювальних установок // Збірник праць «Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики» / за

УДК 536.24:533

**І. Є. Риженко, О. М. Гуля**

*ФХЦКБ «Енергопрогрес» ТОВ «Котлотурбопром», м. Харків*

## **ПРОЄКТИ ВІДНОВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ВУГІЛЬНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ, ЩО ПОТЕРПІЛИ ВНАСЛІДОК РАКЕТНИХ ОБСТРІЛІВ – В ЯКОСТІ ЗАХОДІВ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ СПОЖИВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ**

Наразі, внаслідок численних пошкоджень об'єктів енергетики та очікуваному дефіциту поставок природного газу, гостро стоять завдання по екстремому відновленню вугільних енергоблоків теплових електростанцій. Перед енергетиками стоїть задача у найкоротші терміни знайти економічно доцільні шляхи відновлення та введення в експлуатацію пошкоджених енергетичних потужностей.

Компанія ТОВ «Котлотурбопром» має унікальний досвід впровадження проєктів по відновленню роботи об'єктів критичної інфраструктури в енергетиці, починаючи з 2015 року. Для вирішення проблеми дефіциту антрацитового вугілля на електростанціях України, компанія розробила технічні рішення та успішно впроваджує проєкти з переведення антрацитових енергоблоків 150, 200, 300 МВт на наявне на ринку вугілля газової групи.

Інжиніринговий центр ФХЦКБ «Енергопрогрес» має суттєві напрацювання з модернізацію парку парових котлів великої потужності для ТЕС і ТЕЦ, можливості для розробки та впровадження ефективних котельних технологій направлених на відновлення парку котлів.

Компанія пропонує в ході відновлення пошкоджених котлоагрегатів, замість еквівалентної ресурсної заміни поверхонь нагріву, надавати нову якість відновленому котельному устаткуванню із забезпеченням підвищених економічних та експлуатаційних показників та надійності роботи. Комплекс прийнятих рішень, спрямований на створення сучасних газошільних котлоагрегатів в комірці існуючого котла,

із одночасним переведенням їх на марки вугілля, наявні в достатньому обсязі на ринку України, в тому числі рядове вугілля погіршеної якості.

**З метою отримання високих техніко-економічних показників та сучасних показників надійності, на великих енергетичних котлах типів ТП-100, П-50, ТПП-210 та інших, в ході їх відновлення пропонується впровадження таких новацій:**

- екрана система топкової камери котла розробляється та виготовляється повністю або частково газощільною із застосуванням суцільнозварних панелей екранів, оснащених колекторами;
- екрани топкової камери виконуються із об'ємними водоохолоджуваними трубними амбразурами для встановлення основних пальників, вибухових клапанів, ремонтних лазів;
- конструкція та розміри льотки для виходу рідкого шлаку розробляються в залежності від якості розрахункового палива, виконуються із застосуванням відсосу випару шлакової ванни, та охолоджуючим змійовиком захисту труб екранів;
- газощільна топкова камера та її підвісна система адаптуються до існуючих металоконструкцій котла;
- встановлюються пояси жорсткості, призначені для сприйняття зусиль від підвищення тиску в топці;
- при необхідності виконується посилення вузлів каркасу котла із встановленням нових несучих балок для кріплення екранів;
- виконуються ущільнення екранів в місцях стикування газощільної топки з перехідним газоходом, настінно-радіаційним пароперегрівачем, стельовим пароперегрівачем, пальниками, вибуховими клапанами, системами АПФ та подовими екранами;
- запалювальний пояс екранів виконується з карборундової обмазки з попереднім ошипуванням труб екранів відповідно до вимог НТД;
- встановлюються нові пальникові пристрої, які розробляються індивідуально, в залежності від типу та якості розрахункового палива;
- газощільна частина топкової камери котла покривається на-трубною тепловою ізоляцією із мінеральних матів, які виготовлені з базальтових волокон низької теплопровідності та використовуються багаторазово.

### **Очікувані результати**

Впровадження екранних поверхонь нагріву в газощільному виконанні є ефективним для усіх типів потужних енергетичних котло-

агрегатів, як для барабанних котлів з природною циркуляцією, так і для прямоточних котлів надкритичних параметрів пари.

Така конструкція котла забезпечує щільність топкової камери в зоні найбільшого розрідження топкових газів, тим самим знижує присоси холодного повітря у ядро факелу та поліпшує організацію спалювання, умови вигорання палива та надійність виходу рідкого шлаку.

Впровадження газощільної топки забезпечує:

- відсутність неорганізованих присосів холодного повітря у топку на весь період експлуатації котла;
- стабільність ведення паливно-повітряних режимів пальників протягом усього терміну експлуатації котла;
- високу ефективність спалювання палива (з мінімальним механічним та хімічним недопалом);
- зменшення споживання природного газу на «підсвічування» факелу, у разі використання рядового незбагаченого вугілля;
- зручність автоматизації ведення топкового процесу при стабільній підтримці співвідношення паливо-повітря у топці без присосів;
- надійність роботи поверхонь нагріву топки за рахунок відсутності виходу окремих труб екранів з ранжирів, тим самим зберігаючи від руйнування футеровку запалювального поясу;
- збільшення міжремонтного періоду роботи топкової камери;
- можливість ефективнішого придушення топковими методами шкідливих викидів у навколишнє середовище;
- довготривале збереження стабільної аеродинаміки факелу в топці;
- надійну та ефективну роботу котла;
- забезпечують низьку матеріаломісткість за рахунок виключення важких матеріалів для обмурівки та теплоізоляції;
- поліпшення умов роботи циркуляційних випарних контурів барабанних котлів з природною циркуляцією.

Подовження ресурсу та ефективне використання наявних потужностей вугільних ТЕС, в тому числі на вітчизняному рядовому вугіллі, забезпечить стабільне енерго- і теплозабезпечення в перехідному періоді технічного переозброєння енергетичної галузі на шляху декарбонізації, знизить потребу у використанні природного газу та потребуватиме значно менше капіталовкладень.

**Н. М. Фіалко, Ю. В. Шеренковський,  
В. Г. Прокопов, А. В. Кліщ, С. О. Альошко,  
Н. П. Полозенко, Р. Я. Сороковий**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ЗОНИ ГОРІННЯ ПАЛЬНИКОВИХ ПРИСТРОЇВ З БАГАТОРЯДНОЮ ПОДАЧЕЮ ПАЛИВНОГО ГАЗУ**

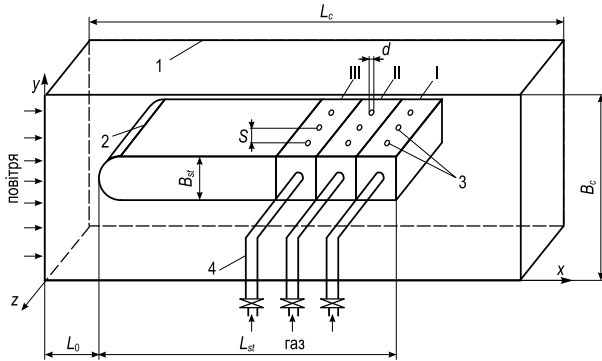
Пальникові пристрої стабілізаторного типу з багаторядною системою паливоподачі орієнтовані на застосування при варіюванні коефіцієнта надлишку повітря. Дослідженню різних елементів робочих процесів цих пальників присвячено ряд публікацій [1–12]. Значний інтерес становить аналіз теплового стану зони горіння вказаних пальникових пристроїв. В даній роботі дослідженню підлягають різні характеристики теплового стану пропонувані пальників. А саме поля температур і температурних пульсацій, картини зміни в зоні горіння коефіцієнта нерівномірності температури тощо для різних секцій подачі паливного газу.

Досліджуваний модуль пальникового пристрою наведено на рис. 1. Подача паливного газу в кожному модулі здійснюється через одну з трьох секцій, відповідно при  $\alpha = 1,1$  для першої секції,  $\alpha = 1,3$  – для другої і  $\alpha = 1,5$  – для третьої.

Дослідження виконувались на основі CFD моделювання з використанням пакету Fluent та підходу DDES. Одержані результати відповідали таким вихідним даним:  $B_{st} = 0,03$  м,  $B_c = 0,075$  м,  $L_c = 1,3$  м,  $L_0 = 0,1$  м,  $L_{st} = 0,2$  м; коефіцієнт загромождження прохідного перерізу каналу  $k_f = 0,4$  ( $k_f = B_{st}/B_c$ ). Відстань  $L_1$  між зривною кромкою стабілізатора і газоподавальними отворами першої, другої і третьої секції паливоподачі складала  $40 \cdot 10^{-3}$  м,  $55 \cdot 10^{-3}$  м і  $70 \cdot 10^{-3}$  м; відповідні діаметри цих отворів  $d = 3,8 \cdot 10^{-3}$  м,  $3,5 \cdot 10^{-3}$  м,  $3,3 \cdot 10^{-3}$  м та відносні кроки їх розташування  $S/d = 4,21$ ;  $4,57$  і  $4,85$ . Інтенсивність турбулентності на вході в канал  $Tu = 3\%$ . Природний газ використовувався як паливо, а повітря як окиснювач.

Як свідчать дані комп'ютерного моделювання, основні характеристики теплового стану зони горіння якісно подібні для різних секцій

паливоподачі, хоча при цьому можуть мати місце певні кількісні відмінності. На рис. 2 для прикладу наведено поля температури і її пульсацій при подачі паливного газу у другу секцію.



**Рис. 1.** Схема модуля мікрофакельного пальника стабілізаторного типу з трирядною системою подачі палива: 1 – плоский канал; 2 – стабілізатор полум’я; 3 – газоподавальні отвори; 4 – паливопідвідні патрубки; I, II, III – секції паливоподачі з різними значеннями коефіцієнта надлишку повітря.

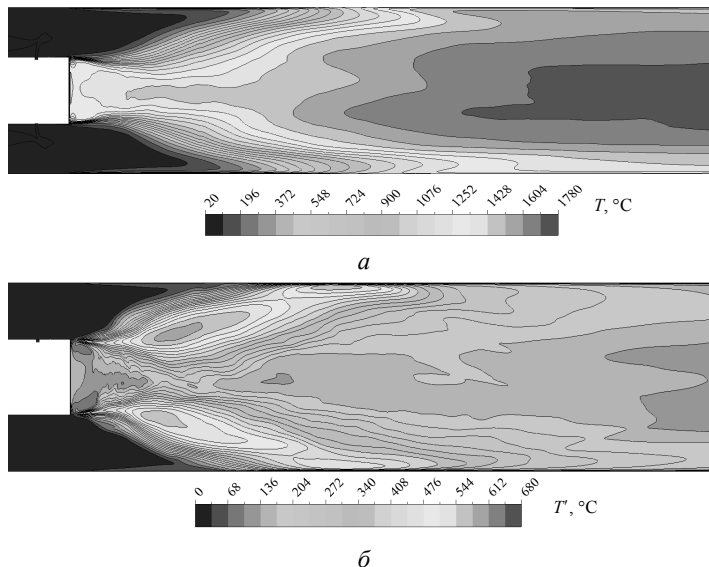
Згідно з результатами обчислювальних експериментів температурні поля зони горіння у досліджуваних пальниках кількісно помітно відрізняються при паливоподачі у різні секції. Так, при подачі паливного газу у першу секцію спостерігається в цілому найвищий рівень температур, у другу – дещо нижчий і найнижчий – за умов паливоподачі у третю секцію.

Щодо картини пульсацій температури, то вона якісно схожа при паливоподачі у першу і другу секцію і суттєво відрізняється за умов подачі паливного газу у третю секцію. Зокрема, при паливоподачі в першу і другу секцію мають місце значно вищі максимальні значення пульсацій температури.

Стосовно характеру зміни по довжині каналу коефіцієнта нерівномірності  $\gamma$ , то він якісно однаковий для всіх секцій паливоподачі. Однак при цьому його значення можуть суттєво відрізнитися. Вони є найменшими при подачі паливного газу у першу секцію і найбільшими – у третю секцію.

Отже в даній роботі із застосуванням методу комп’ютерного моделювання виконано комплекс досліджень теплового стану зони горіння пальників з трирядною подачею паливного газу, призначених для

експлуатації при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря. При цьому головну увагу приділено аналізу впливу номеру секції паливоподачі на основні теплові характеристики даної зони.



**Рис. 2.** Поля температури  $T(a)$  та її середньоквадратичних пульсацій  $T'(b)$  у поздовжньому перерізі стабілізатора полум'я, що проходить через вісь газоподавальних отворів, при подачі палива у другу секцію.

### Список використаної літератури

1. Fialko N., Meranova N., Sherenkovskii Ju., Aleshko S., Prokopov V., Abdulin M., Babak V., Korzhyk 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. Vol. 6(8 (120)). P. 65–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267891>
2. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковський 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/tpe.2.2023.4>
3. 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>

4. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Меранова Н. О., Альошко С. О., Полозенко Н. П., Чехаровська М. І., Дашковська І. Л., Хміль Д. П., Кліщ 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>

5. Фіалко Н. М., Меранова Н. О., Шеренковський Ю. В., Кліщ А. В., Альошко С. О., Прокопов В. Г., Абдулін М. З., Полозенко Н. П., Кутняк О. М., Ольховська Н. М. Закономірності течії в пальниках з трирядною паливоподачею // Збірник праць «Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики» / за ред. О. І. Сігала ; Інститут промислової екології. Київ : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2024. С. 92–99.

6. Шеренковський Ю. В., Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Меранова Н. О., Альошко С. О., Юрчук В. Л., Кліщ А. В., Бетін Ю. О., Рокитько К. В., Дашковська І. Л. Вплив параметрів паливоподачі на закономірності течії в мікрофакельних пальниках // Інтернаука. 2024. № 9. С. 88–92. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2024-9-10340>

7. Fialko N., Abdulin M., Godunov D., Klishch A. Основні положення організації робочих процесів мікрофакельних пальників з трирядною струменевою паливоподачею // Internauka. 2025. № 4. Р. 125–128. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2025-4-10873>

8. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Кліщ А. В., Альошко С. О., Меранова Н. О., Полозенко Н. П., Абдулін М. З. Основні положення організації робочих процесів мікрофакельних пальників з трирядною струменевою паливоподачею // Інтернаука. № 7 (174), 2025. С. 103–107. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2025-7-11231>

9. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Кліщ А. В., Меранова Н. О., Альошко С. О., Мартюк О. В. Структура течії при спалюванні природного газу в пальниках з трирядною системою паливоподачі // Теплофізика та теплоенергетика. 2025. № 3. С. 83–93. <https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2025.8>

10. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Меранова Н. О., Кліщ А. В., Альошко С. О., Юрчук В. Л., Місюра Т. О., Абдулін М. З. Особливості теплового стану зони горіння мікрофакельних пальників для експлуатації при змінних значеннях коефіцієнта надлишку повітря // Інтернаука. 2025. № 8. С. 81–85. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2025-8-11278>

11. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Кліщ А. В., Хміль Д. П., Місюра Т. О., Мельниченко Т. О., Малецька О. Є. Особливості підходу до математичного моделювання процесів спалювання газоподібного палива в мікрофакельних пальникових пристроях // Інтернаука. 2025. № 9. С. 69–73. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2025-9-11284>

12. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Кліщ А. В., Меранова Н. О., Альошко С. О., Полозенко Н. П., Кутняк О. М., Хміль Д. П., Місюра Т. О. Закономірності ізотермічної течії в мікрофакельних пальниках спеціального призначення // Інтернаука. 2025. № 10. С. 122–128. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2025-10-11426>

**Н. М. Фіалко, Г. О. Гнедаш, С. І. Шевчук,  
М. О. Новаківський, О. Ю. Глушак**

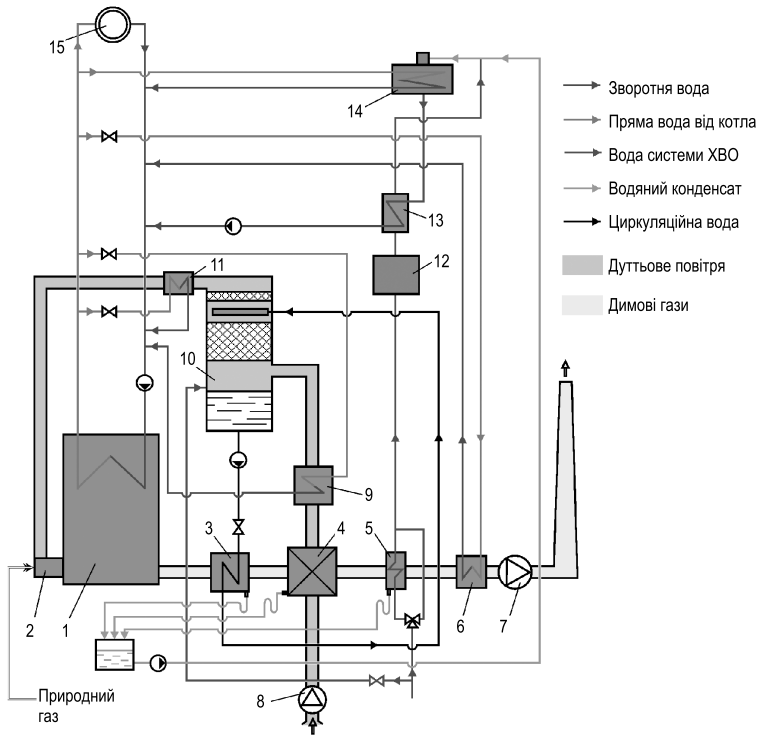
*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **МОДЕРНІЗОВАНА КОМБІНОВАНА ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОСПОЖИВАЛЬНИХ КОТЛІВ**

Основними експлуатаційними проблемами багатьох виробничих об'єктів та теплогенеруючих комунальних підприємств є питання щодо економії паливно-енергетичних ресурсів та зменшення шкідливого пилу на довкілля. Для підвищення теплоенергетичних показників газоспоживальних котельних установок зазвичай застосовують сучасні теплоутилізаційні технології з глибоким охолодженням відхідних газів котла. Питання покращення екологічності цих установок вирішуються завдяки зменшенню обсягів утворення оксидів азоту в топці котла, які за даними досліджень [1] визначають токсичність продуктів спалювання на 95–98%. Досягти зниження викидів оксидів азоту в навколишнє середовище можливо шляхом пригнічування їхнього утворення в топковому просторі котла завдяки введенню вологи в зону горіння та відповідному зменшенні температури горіння, що реалізується за умов залучення спеціальних теплоутилізаційних технологій [2–6]. Ці технології мають характерні особливості, які полягають у значному зволоженні дуттьового повітря на горіння, що спричиняє підвищення вологовмісту відхідних газів котлів. Тому для утилізації теплоти вологих газів доцільно застосовувати модернізовані системи з глибоким охолодженням цих газів. Ці системи забезпечуватимуть високу теплову ефективність шляхом використання утилізованої теплоти для різних потреб котельні, наприклад для підігрівання води різного технологічного призначення та дуттьового повітря з подальшим його зволоженням.

Для підвищення ефективності використання палива і покращення екологічності котельних установок для газоспоживальних котельні в Інституті технічної теплофізики НАН України запропоноване нове

технічне рішення котельної установки (рис. 1) з комбінованим використанням утилізованої теплоти.



**Рис. 1.** Модернізована комбінована теплоутилізаційна установка для газоспоживальних котлоагрегатів:

1 – котлоагрегат; 2 – газопальниковий пристрій; 3 – водопідігрівач; 4 – повітропідігрівач; 5 – підігрівач холодної води на ХВО; 6 – газопідігрівач; 7 – димосос; 8 – вентилятор; 9 – водоповітряний теплообмінник; 10 – контактний водоповітряний тепломасообмінник; 11 – повітродогрівач; 12 – система ХВО; 13 – підігрівач хімічно очищеної води; 14 – деаератор; 15 – споживач.

Покращення екологічних показників газоспоживальних котлоагрегатів за умов застосування розробленої комбінованої теплоутилізаційної системи у порівнянні з відомими аналогами досягається завдяки:

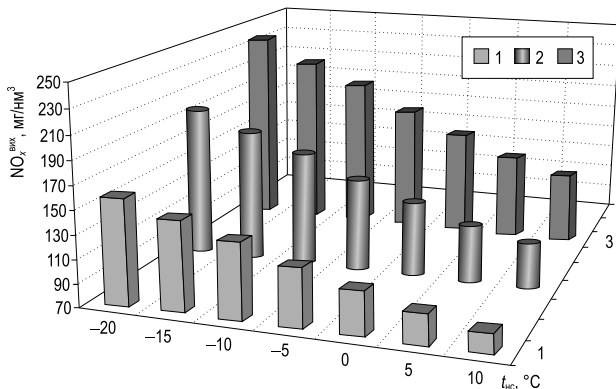
- встановленню у відповідному газоході водопідігрівача 3 між котлоагрегатом 1 і повітропідігрівачем 4;
- розміщенню у повітроводі між вентилятором 8 і газопальниковим пристроєм 2 у напрямі руху відхідних газів повітропідігрівача-

- ча 4, водоповітряного теплообмінника 9, контактного водоповітряного тепломасообмінника 10 і повітродогрівача 11;
- під'єднання підігрівача хімічно очищеної води 13 до з'єднувального трубопроводу між виходом деаератора 14 та підживлювальним насосом;
- підключення водоповітряного теплообмінника 10, повітродогрівача 11 та газопідігрівача 6 входами до подавального трубопроводу, а виходами – до зворотного трубопроводу на всмоктувальній стороні мережного насоса.

Впровадження такої котельної установки з пропонованою модернізованою схемою теплоутилізації відхідних газів з підігріванням і зволоженням дуттьового повітря забезпечить суттєве підвищення температури води на вході у контактний водоповітряний тепломасообмінник і відповідне підвищення його вологопродуктивності та збільшення температури повітря на вході у вказаний тепломасообмінник.

Завдяки попередньому підігріванню повітря досягається збільшення його вологоємності, завдяки чому знижується температура горіння, і відповідно пригнічується процес утворення оксидів азоту в топці котла.

Результати досліджень щодо підвищення екологічної ефективності запропонованої котельної установки наведено на рис. 2.



**Рис. 2.** Вміст оксидів азоту  $\text{NO}_x^{\text{вих}}$  у димових газах на виході з котельної установки з комбінованим використанням утилізованої теплоти та зволоженням дуттьового повітря в залежності від температури навколишнього середовища за умов вмісту  $\text{NO}_x$  у димових газах без додавання води в зону горіння: 1 – 200; 2 – 250; 3 – 300  $\text{mg/m}^3$ .

При виконанні розрахункових досліджень використовувались відомі методи розрахунку котельних установок, результати експериментальних досліджень, які були отримані авторами [7] та результати досліджень поверхнево-контактного теплоутилізатора для котла КСВа-0,63 [8, 9].

Аналіз отриманих результатів показує, що застосування для газоспоживального опалювального котла запропонованої нової комбінованої системи теплоутилізації забезпечує зменшення відносних рівнів утворення оксидів азоту на 5–10%. Дане технічне рішення захищено Патентом України на винахід UA 124319 С2.

### Список використаної літератури

1. 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.

2. Fialko N. M., Navrodska R. A., Presich G. A., Gnedash G. A., Shevchuk S. I. & Martiuk O. Increase of ecological effectiveness of complex heat-recovery systems for boiler plants // Thermophysics and Thermal Power Engineering. 2018. № 40(2). P. 27–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/ihe.2.2018.04>.

3. Fialko N. M., Navrodska R. O., Shevchuk S. I. & Gnedash G. O. The environmental reliability of gas-fired boiler units by applying modern heat-recovery technologies // Scientific Bulletin of National Mining University. 2020. (2). P. 96–100. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-2/096>

4. Fialko N. M., Gnedash G. O., Navrodska R. O., Presich G. O. & Shevchuk S. I. Improving the efficiency of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler installations // Scientific Bulletin of UNFU. 2019. № 29(6). P. 79–82. <https://doi.org/10.15421/40290616>

5. Fialko N., Navrodska R., Gnedash G., Shevchuk S. & Sbrodova G. Improvement of complex heat-recovery systems for gas-fired boiler units // Internauka. 2021. № 9. P. 33–36. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2021-9-7427>

6. Fialko N. M., Navrodska R. A., Presich G. A., Novakovskiy M. A., Gnedash G. A., Shevchuk S. I. & Sbrodova G. A. Combined heat recovery systems of boilers with increased moisture content of flue gases // Technological systems. 2016. (77/4). <http://technological-systems.com/index.php/Home/issue/view/20/showToc>

7. Navrodska R. A., Stepanova A. I., Shevchuk S. I., Gnedash G. A. & Presich G. A. Experimental investigation of heat-transfer at deep cooling of combustion materials of gas-fired boilers // Scientific Bulletin of UNFU. 2018. № 28(6). P. 103–108. <https://doi.org/10.15421/40280620>

8. Fialko N. M., Navrodska R. O., Presich G. O., Gnedash G. O., Shevchuk S. I. & Stepanova A. I. Combined heat recovery systems for gas-fired boilers of communal heat energy. Kyiv : Pro format, 2019. 192 p.

9. Fialko N., Presich G., Navrodska R., Gnedash G. & Shevchuk S. Improving the ecological indicators of gas-fired boiler plants at the use of complex heat-recovery systems // Innovations. 2018. № 6(2). P. 79–81. <https://stumejournals.com/journals/innovations/2018/2/79>

УДК 621.036.7

**Н. М. Фіалко, А. І. Степанова, Г. О. Сбродова,  
Г. О. Гнедаш, С. І. Шевчук**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НА ОСНОВІ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО ПІДХОДУ КОМБІНОВАНОЇ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**

Сучасні ефективні технології утилізації теплоти відхідних газів енергетичних установок дозволяють вирішувати проблеми економії паливно-енергетичних ресурсів України в галузі промислової та комунальної теплоенергетики. Це зумовлює необхідність розширення робіт, спрямованих на підвищення ефективності теплоутилізаційних технологій та визначає важливість та актуальність розробок у цій галузі.

Наразі досить часто для оцінювання ефективності енергетичних установок використовуються методи ексергетичного аналізу, а критеріями оцінювання ефективності слугують ексергетичні характеристики [1–9]. Так у роботі [1] для аналізу втрат ексергії, пов'язаних з незворотним спалюванням палива та теплопереносом, використано балансовий метод ексергетичного аналізу. Метою роботи [2] є ексергетичні дослідження окремих елементів атомної електростанції, які характеризуються високими втратами ексергії. Дослідженням технологій утилізації теплоти на основі комплексних методик з використанням ексергетичного підходу присвячені роботи [3–9]. Ці методики дозволяють підвищити ефективність теплоутилізаційних технологій різних енергетичних установок.

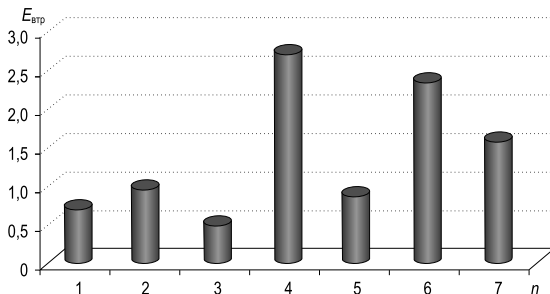
Метою роботи є раціональний вибір теплообмінників у комбінованій теплоутилізаційній системі котельної установки для забез-

печення необхідних значень технологічних та ексергетичних параметрів.

Виконано розрахункові дослідження комбінованої теплоутилізаційної системи котельної установки, призначеної для нагрівання зворотної тепломережної води та дуттьового повітря. У розрахунках використана комплексна методика оцінювання ефективності, яка розроблена на основі методів ексергетичного аналізу.

**Результати досліджень.** Вибір типів теплообмінників у комбінованій теплоутилізаційній системі, їх кількість і розподіл визначається багатьма факторами, зокрема і необхідним рівнем зниження температури грійного теплоносія до заданої величини при використанні декількох нагріваних теплоносіїв різного температурного потенціалу. Водночас рівень ексергетичних втрат у відповідних теплоутилізаторах теплоутилізаційної системи повинен бути мінімальним, що відповідає значенням конструкційних і режимних параметрів теплоутилізаторів наближених до оптимальних. Розроблено комплексну методику досліджень, на основі методів ексергетичного аналізу та теорії графів для комбінованої теплоутилізаційної системи, що komponується з водогрійного та повітрогрійного теплоутилізаторів, де грійний теплоносій – відпрацьовані димові гази котла, а нагрівані теплоносії – зворотна вода тепломережі і дуттьове повітря. Теплообмінна поверхня водогрійного теплоутилізатора виконана з пучків оребрених біметалевих труб (стальна основа, ребра з алюмінію), а поверхня повітрогрійного komponувалася з пакетів сталевих пластин. Вибір і розподіл теплообмінників у системі забезпечували зниження температури газів від 170–180 °С до 40–60 °С.

Проаналізовано розподіл ексергетичних втрат в елементах комбінованої теплоутилізаційної системи при її використанні для газоспоживального котла теплопродуктивністю 2 МВт (рисунок). За оптимальних значень досліджуваних параметрів теплоутилізаторів ексергетичні втрати у системі теплообмінників підтримувалися на рівні мінімуму і становили: для водогрійного теплоутилізатора  $E_{втр} = 0,75$  кВт, а для повітрогрійного –  $E_{втр} = 0,96$  кВт. У таблиці подано результати розрахунку оптимальних областей зміни конструкційних параметрів теплообмінних елементів в утилізаторах досліджуваної теплоутилізаційної системи, що відповідають вказаному рівню ексергетичних втрат.



**Рисунок.** Розподіл ексергетичних втрат  $E_{\text{втр}}$  (кВт) в елементах комбінованої теплоутилізаційної системи для підігрівання зворотної тепломережної води та дуттьового повітря для газоспоживального котла потужністю 2 МВт:

1 – водогрійний теплоутилізатор; 2 – повітрогрійний теплоутилізатор; 3 – газопідігрівач; 4 – димосос; 5 – вентилятор; 6, 7 – насоси.

Таблиця

**Оптимальні області зміни геометричних параметрів теплообмінної поверхні теплоутилізаторів комбінованої теплоутилізаційної системи**

Теплоутилізатор	Параметри	Оптимальні області зміни, мм
Водогрійний	Висота ребра	10–11
	Товщина ребра	4–6
	Міжреберний крок	3,0–3,5
Повітрогрійний	Ширина пластини	1350–1550
	Висота пластини	1500–2000
	Відстань між пластинами	5–6

**Висновки.** Для комбінованої теплоутилізаційної системи котельної установки обґрунтовано вибір теплообмінників для забезпечення зниження температури відхідних димових газів до 40–60 °С при досягненні мінімальних ексергетичних втрат в теплоутилізаторах, які для водогрійного теплоутилізатора становили  $E_{\text{втр}} = 0,75$  кВт, а для повітрогрійного –  $E_{\text{втр}} = 0,96$  кВт. Для забезпечення мінімального рівня ексергетичних втрат визначено оптимальні області зміни геометричних параметрів теплообмінної поверхні теплоутилізаторів комбінованої

теплоутилізаційної системи газоспоживальної котельної установки потужністю 2 МВт.

### Список використаної літератури

1. Yuan Yuan Jian, Shao Xiang Zhou. Exergy Analysis of Boiler Based on the Temperature Gradient // *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*. 2010. Paper # 11258018. P. 4. doi.org/10.1109/APPEEC.2010.5449523.
2. Terzi R., Tükenmez İ., Kurt E. Energy and exergy analyses of a VVER type nuclear power plant Energy and Exergy Analyses of a VVER Nuclear Power Plant // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016. № 41. P. 1–12.
3. 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. DOI : 10.15587/1729-4061.2018.147526.
4. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Novakovsky M. Study of the efficiency of a combined heat utilization system using the graph theory methods // *Internauka*. 2019. № 15(1). P. 61–63.
5. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Novakovsky M. Study of the efficiency of a combined heat utilization system using the graph theory methods // *Internauka*. 2019. № 15(1). P. 61–63.
6. 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.
7. Stepanova A. Efficiency analysis and optimization of the combined heat recovery system of the boiler plant // *Energy and automation*. 2016. № 1. P. 119–128.
8. Stepanova A. Optimization of parameters of the heat exchange surface of the contact plate air heater of the combined heat utilization system of the boiler installation // *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2016. № 242. P. 170–178.
9. 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. Doi.org/10.15407/scine17.04.011.

**Н. М. Фіалко, А. І. Степанова, Г. О. Гнедаш,  
С. І. Шевчук, М. О. Новаківський**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

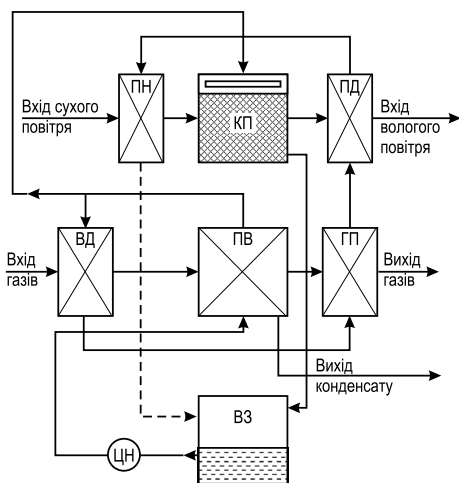
## **ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ НАГРІВАННЯ І ЗВОЛОЖЕННЯ ДУТТЬОВОГО ПОВІТРЯ**

Серед дієвих напрямів спрямованих на підвищення ефективності використання енергоресурсів в Україні одним з головних є оснащення паливоспоживальних установок додатковим теплоутилізаційним обладнанням, від ефективності якого залежить рівень заощадження палива. Теплоутилізаційні системи, в яких реалізується підігрівання та зволоження дуттьового повітря, крім заощадження палива, мають також екологічний ефект [1], що полягає у зменшенні викидів оксидів азоту в навколишнє середовище з відпрацьованими димовими газами вказаних установок. Для більшості країн, в яких приділяється велика увага економії палива та охороні довкілля, розвиток сучасних ефективних технологій утилізації теплоти, проблеми їх розроблення, оптимізації та впровадження є актуальними зараз та на найближчу перспективу.

Для дослідження та оптимізації енергетичних установок все більшого поширення набувають комплексні методики, які засновані на ексергетичному підході. Такі методики, зазвичай, включають методи термoeкономічного аналізу, структурно-варіантні методи, методи багаторівневої оптимізації, статистичні методи планування експерименту, методи функціонального аналізу, теорії лінійних систем, термодинаміки незворотних процесів тощо [2–10]. Розроблення та застосування комплексних методик, заснованих на тому чи іншому поєднанні зазначених методів, дозволяє забезпечувати максимальну ефективність енергетичних установок, зокрема і теплоутилізаційних систем різного призначення.

Метою роботи є аналіз комбінованої теплоутилізаційної системи для підігрівання і зволоження дуттьового повітря та визначення її оптимальних конструкційних та теплотехнічних параметрів на основі ексергетичного підходу.

Для досягнення поставленої мети та виконання розрахункових досліджень розроблено комплексну методичку, що поєднує методи багаторівневої оптимізації, статистичні методи планування експерименту та методи функціонального аналізу. Згідно з основними принципами методу багаторівневої оптимізації, теплоутилізаційна система поділена на шість рівнів оптимізації, для кожного з яких розроблено математичну модель. Проведено вибір критеріїв оцінювання ефективності, які включають ексергетичні характеристики з високою чутливістю до зміни параметрів теплоутилізаційної системи, і знайдено функціональні залежності критеріїв від основних параметрів системи. Вказані критерії використано цільовими функціями при розв'язуванні оптимізаційних задач для кожного рівня оптимізації. При отриманні функціональних залежностей використано балансові методи ексергетичного аналізу, статистичні методи планування експерименту та методи функціонального аналізу. У роботі проведено ексергетичний аналіз комбінованої теплоутилізаційної системи (рисунок), що призначена для підігрівання та зволоження дуттьового повітря завдяки використанню теплоти димових газів від котельної установки теплопродуктивністю 0,67 МВт. До основних елементів комбінованої теплоутилізаційної системи належать поверхневий конденсаційний водопідігрівач (ПВ), контактний підігрівач-зволожувач повітря (КП) та поверхневі повітропідігрівачі на вході (ПН) та виході (ПД) повітря з контактної камери КП.



**Рисунок.** Принципова схема комбінованої теплоутилізаційної системи для нагрівання та зволоження дуттьового повітря:

- ПН – повітронагрівач;
- КП – контактний підігрівач (зволожувач повітря);
- ПД – повітродогрівач;
- ВД – вододогрівач;
- ПВ – поверхневий водопідігрівач;
- ГП – газопідігрівач;
- ВЗ – водозбірник;
- ЦН – циркуляційний насос.

Згідно розробленої методики для кожного рівня оптимізації було розв'язано відповідну оптимізаційну задачу і знайдено оптимальні експлуатаційні та конструкційні значення параметрів теплоутилізаційної системи в цілому та окремо її теплоутилізаторів. На основі оптимальних значень параметрів відповідно до технологічних потреб визначено оптимальні області параметрів досліджуваної комбінованої теплоутилізаційної системи котла. Результати розрахунків наведено у таблиці, де вказано діапазони оптимальних геометричних параметрів та області допустимих величин основних технологічно-експлуатаційних показників окремих теплообмінних елементів – теплоутилізаторів та всієї комбінованої теплоутилізаційної системи.

Таблиця

**Оптимальні області параметрів теплоутилізаційної системи для нагрівання води і зволоження дуттьового повітря**

Рівень оптимізації	Параметри	Оптимальні значення
Теплоутилізаційна система	Витрата води в циркуляційному контурі, кг/с	0,8–1,1
	Початковий вологовміст димових газів, кг/кг сухих газів	0,18–0,20
	Температура води на вході у водопідігрівач, К	303–305
ПВ (конденсаційний режим роботи)	Відношення початкового і кінцевого вологовмісту димових газів	3,0–3,3
	Відношення чисел Рейнольдса димових газів та води	1,0–1,3
	Висота ребра, мм	11–13
	Товщина ребра, мм	4–6
	Міжреберний крок, мм	4–5
ВД, ПН, ПД, ГП (без конденсації)	Висота ребра, мм	10–11
	Товщина ребра, мм	4–6
	Міжреберний крок, мм	3,0–3,5
КП	Ширина пластини, мм	1350–1550
	Висота пластини, мм	1500–2000
	Відстань між пластинами, мм	5–6
	Відношення початкового і кінцевого вологовмісту повітря	0,05–0,06
	Щільність зрошення насадки, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$	10–15
	Питома площа поверхні насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$	90–100

**Висновок.** На основі комплексної методики проведено ексергетичний аналіз комбінованої теплоутилізаційної системи та її елементів, за результатами якого визначено діапазони основних експлуатаційно-конструкційних параметрів, в межах яких досягається максимальна теплова та екологічна ефективність.

### Список використаної літератури

1. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Пресіч Г. О., Гнедаш Г. О., Шевчук С. І. Удосконалення комбінованої теплоутилізаційної системи для підігрівання і зволоження дуттьового повітря газоспоживальних котлоагрегатів // *Інтернаука*. 2022. № 6. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-6-8064>
2. Taner T. Energy and exergy analyze of PEM fuel cell: A case study of modeling and simulations // *Energy*. 2018. № 143. P. 284–294.
3. 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.
4. Picallo-Perez A., Sala J. M., Tsatsaronis G., Sayadi S. Ad-vanced Exergy Analysis in the Dynamic Framework for As-sessing Building Thermal Systems // *Entropy*. 2019. vol. 22, no. 1, Dec. p. 32. DOI : 10.3390/e22010032.
5. Sangi R., Müller D. Application of the second law of thermo-dynamics to control : A review // *Energy*. 2019. vol. 174, no. 1, May. pp. 938–953. DOI : 10.1016/j.energy.2019.03.024.
6. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii Ju. 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. DOI : 10.15587/1729-4061.2018.147526.
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. <http://doi.org/10.15587/1729.4061.2021/234026> ISSN 1729-3774 4061.2021/234026.
8. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Gnedash G., Shevchuk S. Complex metods for analysis of efficiency and optimization of heat-recovery system // *Scientific and innovation*. 2021. № 17(4). P. 11–18. <http://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.

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

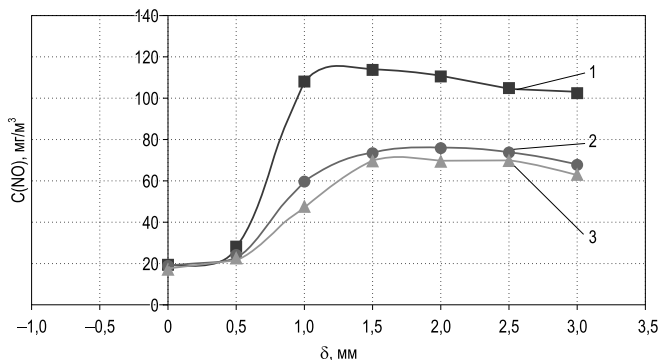
## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВМІСТУ ВОДНЮ У ВОДНОМУ РОЗЧИНІ НА УТВОРЕННЯ $\text{NO}_2$ У ФРОНТІ ПОЛУМ'Я ЛАМІНАРНОГО ФАКЕЛУ МЕТАНУ**

Сучасні дослідження [1] демонструють, що водень може стати ефективною альтернативою традиційному викопному паливу, знижуючи викиди  $\text{CO}_2$  та позитивно впливаючи на енергетичну безпеку. Разом з цим важливо розуміти відмінності в теплотехнічних характеристиках природного газу і водню (вища адіабатна температура горіння водню, низька теплотворна здатність  $\text{H}_2$  на одиницю об'єму, проблеми стабілізації факелу в змішувальних пальниках котлів, підвищене утворення оксидів азоту при спалюванні водню та водневих сумішей в атмосферному повітрі в топках котлоагрегатів тощо).

Німеччина (Hydrogen and Fuel Cell Center, Research Centre Jülich, Max Planck Institute for Chemical Energy Conversion), Австрія (TU Graz – Center of Hydrogen Research/HyCentA), Польща (Hydrogen Technologies Center, Gdańsk University of Technology) та ряд інших передових країн [2] вивчають перспективи водню як енергетичного ресурсу, проте такі дослідження часто досить суперечливі. Однією з причин різноманітності висновків про вплив водню є різноманіття факторів, що впливають на процес горіння у лабораторних та промислових умовах.

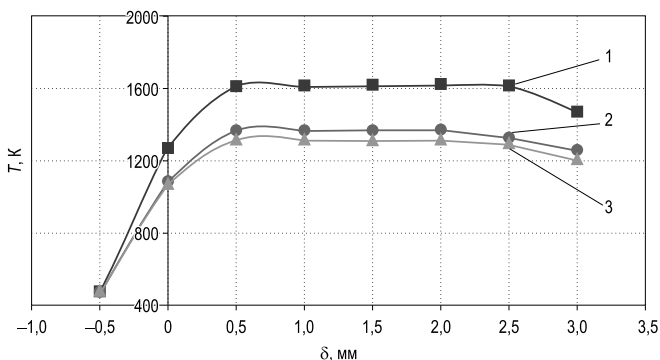
В Інституті технічної теплофізики НАН України було створено експериментальний стенд для дослідження впливу вологи на утворення токсичних речовин при горінні газоподібного палива, та проведено кілька серій експериментів з його використанням. Метою експериментальних досліджень стало вивчення процесів у передполум'яній зоні та фронті горіння метану, впливу на процес горіння газоподібного палива добавок вологи у вигляді пари, краплинної рідини (води) та перекису водню, а також комплексного баласту (вологи та повітря). Для досягнення поставленої мети було застосовано: прецизійні пошарові виміри у фронті полум'я; введення баластів та реагентів – повітря, пари, крапельної рідини у фронт полум'я; зміна хімічного складу реагентів та тепло-

ємності баласту, тобто додавання у воду перекису водню у різних концентраціях. В експериментальних дослідженнях [3] основна увага була приділена вимірюванню максимальної локальної температури і відповідних концентрацій оксидів азоту в «сліді» краплі. У процесі досліджень були отримані дані про рівень температур та розподіл концентрацій оксиду та діоксиду азоту по ширині фронту полум'я (рис. 1, рис. 2).



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

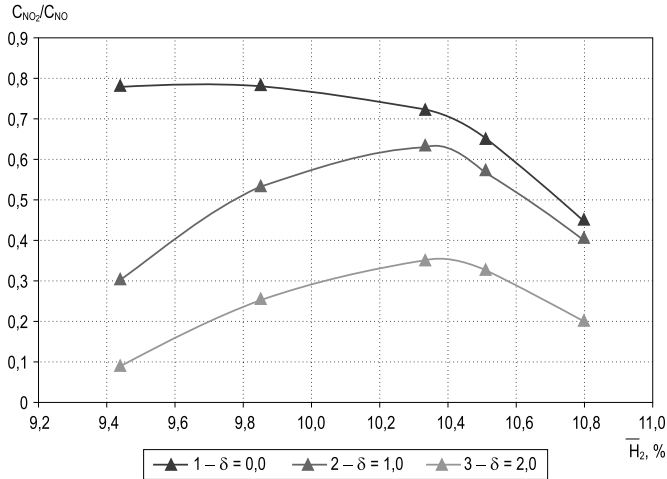
Експериментально показано, що термодинамічна складова має обмежений вплив на зниження утворення оксидів азоту і підтверджує температурну сходинку Франк-Каменецького ( $\ln e \approx 2,7$ ).



**Рис. 2.** Розподіл температури по ширині фронту полум'я ламінарного факелу метану без введення води (1), з введенням 1 краплі (2), з введенням 2 крапель (3).

Подальше зниження утворення оксидів азоту доцільно проводити, впливаючи вже на кінетику процесу.

Найсприятливішими умовами доокислення (рис. 3)  $\text{NO}$  в  $\text{NO}_2$  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). Проте ці твердження потребують додаткового вивчення.



**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.

При підвищенні частки водню у паливі, що спалюється в топці котла з урахуванням наявності вологи в дуттьовому повітрі буде зростати концентрація  $\text{NO}_2$ , відповідно частка  $\text{NO}$  зменшиться.

Як практичний висновок – 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 й наявності домішок, що інтенсифікують процес.

Отримані результати свідчать про перспективність обраного напрямку, однак для більш повного розуміння процесу горіння метану, з дода-

ванням розчинів перекису водню різної концентрації необхідні подальші дослідження, спрямовані на уточнення виявлених закономірностей, розширення емпіричної бази та перевірку отриманих результатів в інших умовах.

### **Список використаної літератури**

1. Adnan Görgülü, Hüseyin Yağlı Yıldız Koç. Comprehensive analysis of the effect of water injection on performance and emission parameters of the hydrogen fuelled recuperative and non-recuperative gas turbine system // International Journal of Hydrogen Energy. 2020. V. 45, Issue 58. P. 34254–34267. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.038>

2. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. (2020). URL : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>

3. Dubovkina I., Sigal O., Rikhte V., Nizhnyk N. Toxic substances formation in co-incineration process for food production // Ukrainian Food Journal. 2021. Issue 4. P. 828–839. <https://nuft.edu.ua/doi/doc/ufj/2021/4/15.pdf>

УДК 662.613.12:62.112

**А. Г. Колієнко, В. А. Загорулько**

*Національний університет  
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ВИЗНАЧЕННЯ І АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ГОРЮЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК БІОМАСИ**

На сьогодні накопичено достатній досвід використання у якості палива для опалювальних котельних рослинної продукції сільськогосподарського виробництва (біомаси) і в першу чергу соломи [1].

Це дає підґрунт для більш детальних досліджень в області визначення основних горючих характеристик соломи, як палива. До числа таких характеристик відносяться:

- склад горючих, баластних і інших компонентів соломи;
- теплота згорання;
- об’єм повітря на горіння і об’єм продуктів згорання;
- температура горіння.

Основними горючими компонентами соломи є карбон С, у значно меншій кількості – водень Н. До складу соломи також входять такі небажані елементи як калій, хлор і сірка, зола.

Організація спалювання соломи пов'язана з вирішенням низки питань, які спричинені неоднорідністю складу соломи, високим виходом летких при її горінні, що призводить до особливостей здійснення процесу підведення дуттьового повітря при спалюванні тюкованої соломи, її низькою теплотою згорання, особливо за умови високої вологості палива, наявністю хлору, який призводить до корозії трубною частини котла, а також високою зольністю соломи і низькою температурою розм'ягчення золи, що призводить до утворення шлакових агломератів, шлакування колосникової решітки і забруднення трубною поверхні нагрівання.

Високий вихід летких речовин призводить до значних розмірів факелу, що спричиняє необхідність збільшення висоти і розмірів топки, а також розділення потоків дуттьового повітря на первинне і вторинне. Первинне подається під колосникову решітку, забезпечує протікання процесів сушки соломи, її сублімації і часткової газифікації, а також прямого спалювання частини соломи на решітці.

Вторинне повітря подається у вигляді «гострого» дуття у середину і верхню частину топки для догорання газової фракції продуктів сублімації і газифікації. Витрати як одного так і іншого потоку повітря повинні регулюватись. Колосникова решітка котла на солі повинна бути виготовленою із жаростійкого матеріалу і передбачати можливість очищення колосникових ґрат від золи. Запобігання процесам шлакування решітки можливо за рахунок використання охолодження колосників, або організації процесу спалювання подрібненої соломи у зрідженому шарі.

Для забезпечення необхідних екологічних показників роботи котлів необхідно організувати рециркуляцію частини відпрацьованих продуктів згорання до топкового простору. Такий захід дає можливість також стабілізувати процеси горіння і здійснювати процеси регулювання горіння.

Дослідження процесів гетерогенного горіння [2, 3], до яких відносяться і процеси горіння біомаси показали що за умови значної швидкості потоку і для подрібненого палива процес горіння зміщується у зону кінетичного горіння [2, 3]. У цій зоні процес горіння обмежується швидкістю самої хімічної реакції, Згідно із законом Арреніуса збільшення температури процесу спричиняє різке збільшення швидкості горіння.

Основними продуктами реагування карбону палива з окиснювачем (киснем повітря) є складні киснево-карбонові комплекси  $C_xO_y$ , які розпадаються з прикінцевим утворенням  $CO_2$  і  $CO$ . Рівень теоретичних досліджень з кінетики хімічного реагування не дає можливості отримати точну залежність для визначення швидкості горіння карбону. Але з експериментальних досліджень відомо, що збільшення температури процесу спричиняє збільшення співвідношення  $CO/CO_2$ .

Утворення зазначених компонентів продуктів горіння відбувається як у процесі окислювальних гетеро- і гомогенних реакцій (1–3):



так і відновлення  $CO_2$  на поверхні розжареного карбонового залишку (4):



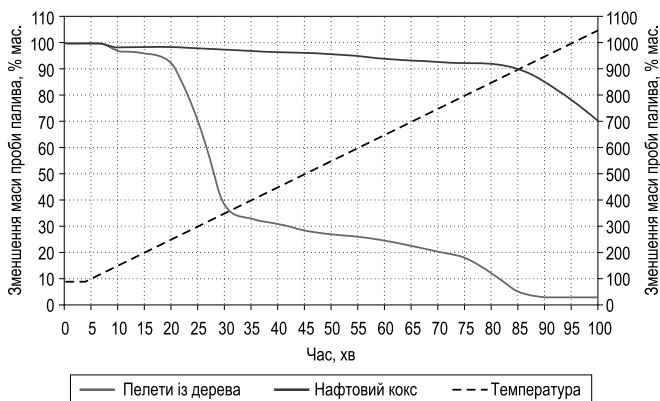
Швидкість хімічного реагування вуглецю визначається інтенсивністю витрачання ним кисню і інтенсивністю утворення продуктів реакції. Тому дослідження закономірностей хімічного реагування карбону можна вести у напрямку дослідження витрачання кисню  $O_2$  і утворення оксидів вуглецю в реакціях (1 і 2), зменшення кількості  $CO_2$  і збільшення частки  $CO$  для реакції (4), а також зростання  $CO_2$  і зменшення  $O_2$  і  $CO$  для реакції (3).

Леткі речовини і  $CO$ , що утворюються із твердої частинки біомаси згорають у газовій фазі. При цьому частинки знаходяться у складній взаємодії конвекцією з газовим середовищем топки і взаємодії випромінюванням з газами і огорожувальними поверхнями агрегату. Відтворити і промоделювати таке середовище досить важко. Тому дані про швидкість виділення летких речовин, а також швидкість горіння і вплив різних факторів на вигорання частинки відрізняються.

У процесі горіння і газифікації частинка біомаси проходить ряд стадій – по мірі нагрівання і підсушування починається процес сублімації і вихід летких речовин; вони дифундують у простір навколо частинки і окиснюються. На це витрачається до 10% часу від загального часу процесу. Після цього залежно від наявності окиснювача в зоні горіння відбувається складний комплекс паралельно-послідовних багатостадійних фізико-хімічних процесів, які приводять або до горіння коксу, або протікання вторинних реакцій відновлення  $CO_2$  і  $H_2O$  на поверхні розжареного вуглецевого залишку.

Методика оперативного визначення технічних характеристик біомаси, як палива за результатами його комплексного термічного аналізу оснований на аналізі кривих зменшення маси навіски палива залежно від температури і атмосфери. Реакційна здатність палива при цьому визначається за величиною швидкості процесу випаровування вологи і виходу летких речовин в окислювальному середовищі.

Експериментальні дослідження виходу летючих виконувались на стенді. Окислювальне середовище створювалось шляхом подачі в реакційну зону повітря з постійними витратами 100 мл/хв. Досліджувались такі види палива, як пелети із деревини і нафтовий кокс. Температура в реакційній зоні змінювалась від 80 до 1100 °С. Результати дослідження представлені на рисунку.



**Рисунок.** Результати експериментальних досліджень реакційної здатності палива.

Динаміка термохімічного перетворення пелет ілюструє втрату вологи на 10-й хвилині нагрівання, інтенсивний вихід летючих речовин на 20-х, 30-х хвилинах, газифікацію вуглецю, який завершився на 85-й хвилині процесу і стабілізацію зольного залишку на завершальній стадії процесу. Вихід летючих становив до 70%. Термохімічні перетворення нафтового коксу проходив, судячи по графіку, дещо за іншим сценарієм, що пояснюється іншою природою карбону у складі нафтового коксу. Для бурого вугілля вихід летючих починається при температурі близько 170 °С, а для антрациту – близько 320 °С.

В результаті виконання експериментальних досліджень визначені тривалості переходу режиму сушки біомаси до режиму виходу летючих

речовин і далі – до стадії горіння і газифікації вуглецевого залишку. Визначені температурні межі процесу виходу летучих речовин. Показано, що температура, при якій починається вихід летучих залежить від виду палива: Так із літературних джерел відомо, що вихід летучих залежить від віку палива і збільшується із зростанням віку палива. Так для бурого вугілля вихід летучих починається при температурі близько 170 °С, а для антрациту – близько 320 °С.

Дослідженням показано, що вихід летучих для пелет із деревини починається при температурі близько 220 °С. А для інших палив залежить від геологічного віку палива.

### **Список використаної літератури**

1. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Драгнев С. В. Аналіз бар'єрів для виробництва енергії з агробіомаси в Україні. Аналітична записка № 21 Біоенергетичної асоціації України. 2019. 40 с.

2. Lewis B., von Elbe G. Combustion, Flames and Explosions of Gases. 3<sup>rd</sup> ed. – Orlando, San Diego, New York, Austin, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto : Academic Press, 1987. 520 p.

3. Khitrin L. N. The Physics of Combustion and Exploding. Jerusalem, 1962. 365 p.

УДК 662.613.12:62.112

**А. Г. Колієнко, В. А. Загорулько**

*Національний університет  
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ НА ГОРЮЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БІОМАСИ**

Важливим в оцінюванні горючих властивостей біомаси є питання її вологості, оскільки для більшості котлів наявність вологи в паливі має негативний вплив на процеси горіння: збільшується точка роси, зростає об'єм продуктів згорання, погіршуються горючі характеристики палива. У ході ж збирання, перероблення і складування біомаси можливе її зволоження внаслідок контакту з атмосферною вологою.

Щойно зрублена деревина має вологість до 60% і більше, повітряносуха деревина після річної витримки в лісі має вологість близько 30–40%. Дані ж по вологості соломи відсутні.

Для визначення діапазону зміни вологості соломи було проведено експериментальне дослідження з визначення вологості соломи за різних умов її зберігання і зволоження. Дослідження виконувались згідно з методикою ГОСТ 54186-2010 (EN 14774-1:2009) [1], яка передбачає визначення вологості соломи за різницею маси до і після висушування зразка у сушильній шафі при температурі близько 105 °С.

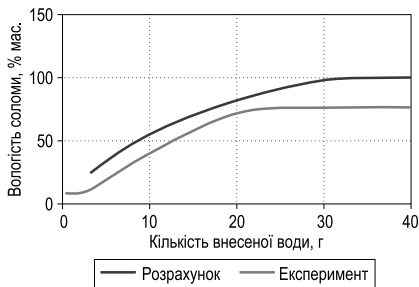
Моделювання різних умов зберігання соломи і зволоження повітря у якому знаходилась солома здійснювалось шляхом внесення до повітря розпиленої води із наступною витримкою соломи у зволоженому стані від 2 до 3 діб. На момент проведення досліджень з визначення вологості скраплена водяна пара по поверхні соломи і у чашці для визначення маси соломи була відсутня. Таким чином визначалась кількість вологи, яка була поглинута соломною. Кількість води, яку вносили до повітря і соломи поступово збільшували.

Основні результати досліджень наведені в таблиці. Кожний результат отриманий на основі 4–5-разових повторень досліджень.

*Таблиця*  
**Результати експериментальних досліджень вологості соломи**

№	Кількість внесеної води, г	Маса соломи, нетто г		Вологість, % мас. до маси вологої соломи	
		вологої	після висушування	згідно розрахунку внесеної води	згідно експериментальних даних
1	0	13,95	12,72	–	8,8
2	3	12,09	10,70	24,8	11,5
3	10	17,95	10,63	55,7	40,7
4	20	25,07	6,92	79,7	72,3
5	30	24,20	6,04	100	75,0
6	40	24,11	5,62	100	76,6
7	50	28,16	6,47	100	77,0

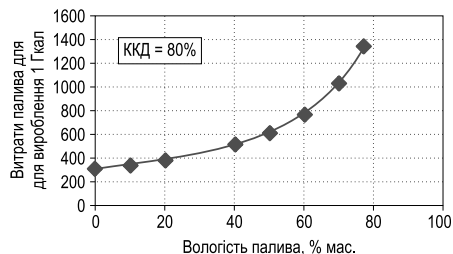
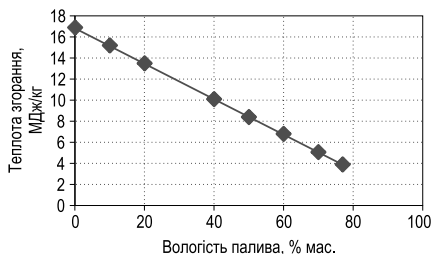
Як видно із таблиці абсорбційна здатність соломи по відношенню до водяної пари обмежує величину максимальної вологості на рівні



**Рис. 1.** Зміна масової вологості соломи залежно від кількості водяної пари у середовищі зберігання соломи.

суттєво погіршує горючі властивості біомаси, як палива (зменшення теплоти згорання, збільшення витрат теплоти на висушування, погіршення якості горіння, зменшення температури продуктів згорання).

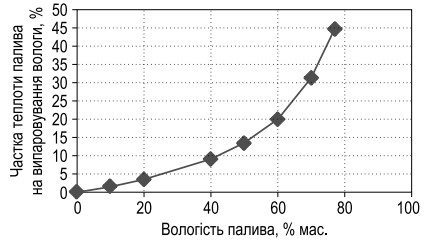
На рис. 2–4 представлено динаміка зміни основних характеристик процесу горіння залежно від вологості соломи. Теплота згорання соломи із збільшенням її вологості суттєво зменшується – з 15,2 МДж/кг за вологості 10% мас. до 3,9 МДж/кг – при вологості 77% мас.



**Рис. 2.** Графік залежності теплоти згорання на робочий склад і витрат соломи для вироблення 1 Гкал теплоти залежно від вологості.

Уже при збільшенні вологості до 30–40% мас. використання соломи у якості палива стає недоцільним. Разом із зменшенням теплоти згорання збільшуються витрати соломи для отримання одиниці теплоти. Так за умови 10%-ої вологості витрати соломи для котла потужністю 1 Гкал за год становлять близько 350 кг за год, а за максимально можливої вологості такі витрати зростають до 1350 кг за год, що суттєво збільшує логістичну складову вартості палива.

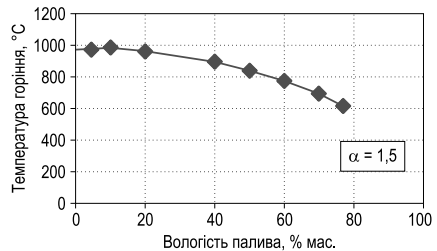
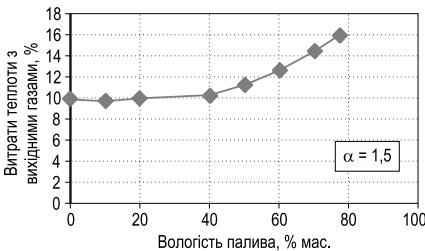
Разом із зменшенням теплоти згорання вологого палива має місце зростання тієї частини теплоти палива, яка буде витратитись на випаровування води, що міститься у паливі після попадання його до топки котла. Графік залежності таких витрат теплоти від вологості палива подано на рис. 3.



**Рис. 3.** Витрати теплоти палива на випаровування води.

Процес горіння вологої соломи супроводжується зниженням температури горіння і збільшенням втрат теплоти з відхідними газами. Збільшення вологості продуктів згорання у присутності сірчистого ангідриду призводить до необхідності підтримувати на виході із котла більшу температуру продуктів згорання, що спричинене властивістю сірчистого ангідриду збільшувати точку роси продуктів згорання. Це також збільшує втрати теплоти з відхідними газами.

Рис. 4 ілюструє зміну величини втрат теплоти з відхідними газами і зменшення дійсної температури горіння при збільшенні вологості соломи.



**Рис. 4.** Зміна втрат теплоти з відхідними газами і дійсної температури горіння у котлі при спалюванні соломи різної вологості.

Збільшення вологості біомаси спричиняє також зростання парникового газу  $\text{CO}_2$  при спалюванні палива, що пояснюється збільшенням об'єму продуктів згорання за рахунок зростання умісту в них водяної пари.

### Висновки

Аналіз характеристик процесу горіння біомаси залежно від її вологості показує, що у разі збільшення вологості біомаси характеристики процесу горіння суттєво погіршуються. Таким чином можна

зробити висновок, що внаслідок значної гігроскопічності соломи у логістичних схемах забезпечення об'єктів теплоенергетики біомасою необхідно обов'язково забезпечити зберігання і транспортування соломи у закритому і захищеному від атмосферної вологи просторі з метою запобігання збільшення вологості біомаси.

Характерні особливості є і при визначенні таких важливих показників процесу горіння біомаси, як екологічні показники викидів у атмосферу.

Це спричинене в першу чергу тим, що біомаса, як правило містить сірку у своєму складі, що призводить до наявності у складі продуктів згорання сірчистого ангідриду  $SO_2$ . Крім того, дійсні концентрації двох інших характерних токсичних інгредієнтів у складі продуктів згорання – оксидів азоту  $NO_x$  і монооксиду карбону  $CO$ , суттєво перевищують відповідні показники для такого палива, як, наприклад, природний газ.

Проблемним є і наявність хлору у складі біомаси. До складу соломи хлор попадає із ґрунту. Аналіз ґрунту різних районів Полтавської області підтверджує наявність у ньому зв'язаного хлору у кількості від 0,1 до 0,2% мас. Причиною наявності хлору є, очевидно, практика внесення мінеральних калійних добрив, основу яких становить хлорид калію.

При проходженні високотемпературної зони топки в присутності проміжних продуктів горіння і газифікації хлормістких може утворювати у продуктах згорання високотоксичні інгредієнти, такі як діоксини, а також токсичні фосгени  $COCl_2$ , хлорводневі сполуки

Підтвердженням того є значна хімічна активність хлору і його спроможність приєднуватись до ненасичених з'єднань, таких, як  $CO$ .

Для попередження утворення високотоксичних хлормістких з'єднань температура в топковому просторі паливоспалювального обладнання не повинна бути меншою за  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ . Але розрахунки дійсної температури горіння соломи показують, що навіть за умови спалювання абсолютно сухої соломи дійсна температура згорання у котлі не перевищує  $970\text{ }^\circ\text{C}$ , суттєво зменшуючись у ході збільшення вологості палива.

Суміш хлору з воднем, які присутні в соломі, може горіти з утворенням в продуктах згорання хлористого водню (парів соляної кислоти), що у свою чергу призводить до інтенсивної корозії поверхонь нагрівання котлів, особливо в умовах конденсації продуктів згорання.

Таким чином, використання соломи у якості палива, повинно супроводжуватись ретельними техніко-економічним обґрунтуванням, в

якому необхідно враховувати всі чинники впливу – технічні, економічні і екологічні.

### Список використаної літератури

1. ДСТУ EN 14774-1:2013 Тверде біопаливо. Визначення вмісту вологи. Метод висушування в сушильній шафі. Частина 1. Загальна волога. Стандартний метод (EN 14774-1:2009, IDT)

УДК 662.61:621

**К. Буйнявичус, Г. Иомантас**

*Каунасский технологический университет*

## **ВЛИЯНИЕ НЕПОЛНОТЫ СГОРАНИЯ БИОТОПЛИВА НА КОНЦЕНТРАЦИИ СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ**

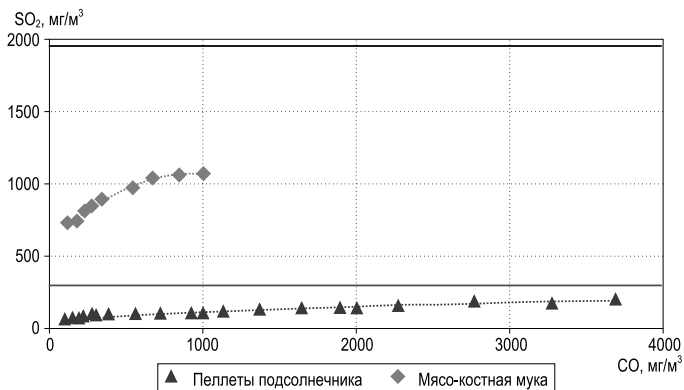
На экспериментальном стенде кафедры Энергетики КТУ [1] изучалось влияние неполноты сгорания топлива, которое определялось как концентрация CO, на концентрации SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>S, при сжигании пеллет лужги подсолнечника, костной муки и разных отходов мебельной промышленности.

Для измерения содержания сернистых соединений в дымовых газах использовались приборы Gasmeter DX4000 (спектрометрический) и MRU Vario Luxx (электрохимический). Все данные по концентрации представлены после их пересчета на избыток воздуха 1,4. Изменение содержания CO в дымовых газах осуществлялось регулированием расходов первичного и вторичного воздуха, при этом соотношение воздуха поддерживалось в пределах 1:1,25 и 1:1,5. Коэффициент избытка воздуха варьировался в пределах  $\alpha = 1,3 \dots 1,8$  в зависимости от требуемой степени неполноты сгорания, контролируя это по концентрации CO.

Режимы горения были разделены на несколько групп по концентрации CO в продуктах сгорания после котла: 0–300 мг/м<sup>3</sup> (хорошее качество), 300–1000 мг/м<sup>3</sup> (среднее качество), 1000–2000 мг/м<sup>3</sup> (плохое качество) и свыше 2000 мг/м<sup>3</sup> (худшее качество). Режимы горения проводились с изменением CO до 4000 мг/м<sup>3</sup> при сжигании гранул из лужги

подсолнечника. Однако в экспериментах с применением костной муки достичь выбросов  $\text{CO} > 1000 \text{ мг/м}^3$  не удалось из-за высокой локальной температуры горения, так как значительная часть  $\text{CO}$  окислялась до  $\text{CO}_2$ . Влияние полноты сгорания в виде  $\text{CO}$  на  $\text{SO}_2$  представлено на рисунке.

На рисунке горизонтальными линиями показаны уровни  $\text{SO}_2$ , если бы вся сера топлива была бы окислирована в диоксид серы, которые соответственно, составляют для пеллет подсолнухи  $292 \text{ мг/м}^3$  ( $S = 0,09\%$ ), для мясно-костной муки  $1960 \text{ мг/м}^3$  ( $S = 0,63\%$ ). Измерения показали, что только часть серы топлива образовала двуокись серы. При исследовании сжигания и других видов топлива, в том числе содержащих мало серы ( $S = 0,01...0,04\%$ ) древесных пеллет, древесных отходов мебельной промышленности указывают, что, в зависимости от условий горения, в данном исследовании – в зависимости от содержания  $\text{CO}$  в дымовых газах, в  $\text{SO}_2$  переходит только от 20 до 70% серы топлива. Остальное количество серы образует другие соединения.



**Рисунок.** Концентрация  $\text{SO}_2$  в зависимости от  $\text{CO}$  в дымовых газах при сжигании пеллет подсолнечника и мясно-костной муки. Горизонтальные линии указывают на теоретический уровень концентрации  $\text{SO}_2$  если бы вся сера, содержащаяся в топливе, была бы окислирована в  $\text{SO}_2$ . Верхняя линия для мясно-костной муки с содержанием  $0,63\%$ , нижняя линия для пеллет подсолнечника, где  $S = 0,09\%$ .

Измерение концентраций  $\text{SO}_3$  также показало зависимость от неполноты сгорания топлива, но только зависимость от  $\text{CO}$  является противоположного характера – с увеличением  $\text{CO}$  концентрация  $\text{SO}_3$

уменьшается. Например, для пеллет подсолнечника, при  $\text{CO}$  порядка  $0\text{--}100 \text{ мг/м}^3$ , концентрация  $\text{SO}_3$  составила  $10\text{--}12 \text{ мг/м}^3$ , а при  $\text{CO}$   $3000 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{SO}_3$  составила лишь  $7 \text{ мг/м}^3$ . Это можно объяснить недостаточным количеством свободного кислорода для окисления  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$ . Кроме того, присутствие  $\text{CO}$  создаёт восстановительную среду, способствующую обратному превращению  $\text{SO}_3$  в  $\text{SO}_2$  [2].

Обобщая полученные результаты по измерению  $\text{SO}_3$ , можно утверждать, что степень перехода серы топлива в  $\text{SO}_3$  для исследованных сортов твердой биомассы составляет от 5% при полном сгорании топлива до 2% при существенном недожоге, когда  $\text{CO}$  превышает  $2000 \text{ мг/м}^3$ .

Измерение концентраций  $\text{H}_2\text{S}$  также показало зависимость от неполноты сгорания топлива. При  $\text{CO}$   $100 \text{ мг/м}^3$ , концентрация  $\text{H}_2\text{S}$  составила  $110 \text{ мг/м}^3$ , а при  $\text{CO}$   $1000 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  понизилась до  $10 \text{ мг/м}^3$ . При ступенчатом сжигании в восстановительных условиях водород может отделяться от топливных соединений и взаимодействовать с серой.  $\text{H}_2\text{S}$  образуется, в основном, в зоне первичного горения во время пиролиза или газификации, когда летучие вещества сгорают в отсутствие кислорода [3].

Также проводились опыты по определению влияния рециркуляции дымовых газов на концентрации  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  и  $\text{H}_2\text{S}$ . Рециркуляционные газы подмешивались только к первичному воздуху. Влияние на концентрации серных соединений сохраняли тот же характер как и от присутствия  $\text{CO}$ .

Проведенные исследования показали, что, при сжигании биомассы, только определенная часть серы превращается в газовые соединения, а остальное количество серы связывается в твердые соединения, частично уходящие из топки, а частично оседающие в виде твердых отложений и пепла.

### **Выводы**

1. При расчете выбросов  $\text{SO}_2$ , необходимо учитывать фактор неполноты сгорания топлива, так как это значительно влияет на концентрацию  $\text{SO}_2$  в дымовых газах. Наименьшая концентрация  $\text{SO}_2$  наблюдается при низких содержаниях  $\text{CO}$  в газах и при этом уровень  $\text{SO}_2$  составляет всего  $10\text{--}30\%$  от теоретического уровня, учитывающего полную оксидацию серы топлива до  $\text{SO}_2$ .

2. Изменение  $\text{SO}_3$  в зависимости от полноты сгорания имеет противоположный характер чем  $\text{SO}_2$ . Степень перехода серы топлива в  $\text{SO}_3$  также зависит от полноты сгорания топлива и составляет от 2 до 5%.

Наибольшая степень прехода установлена при полном сгорании топлива.

3. Концентрация  $H_2S$  ниже при полном сгорании топлива, а разница между уровнями максимальной и минимальной концентрации в значительной мере зависит от содержания серы в топливе.

### Список использованной литературы

1. Jomantas G., Buinevicius K. The Effect of Mixing Recirculated Flue Gas with Primary or Secondary Air during Biomass Combustion in Grate-Firing Boiler as the Primary Measure for  $NO_x$  Reduction // *Mechanika*. 2022. № 28(6). P. 447–454. <http://doi.org/10.5755/j02.mech.31475>

2. Shirai H. ir kt. Characteristics of hydrogen sulfide formation in pulverized coal combustion // *Fuel*. 2013. № 114. P. 114–119. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.03.028>.

3. Musadamba D. ir kt. Trends in the control of  $NO_x$  and  $SO_x$  combustion emissions: Implications to the design of fluidised bed combustion operations // *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2015. № 231. P. 349–358. <https://doi.org/10.1177/0954408915601296>.

УДК 502.5

**Є. Й. Бикорізі<sup>1</sup>, С. В. Плашихін<sup>1,2</sup>, Ю. М. Магєра<sup>1</sup>,  
В. В. Чернокрилюк<sup>1</sup>, Ю. В. Мельниченко<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*

## **ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ РОЗВИТКУ ТА ШИРОКОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ З ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ТА ПРОДУКТІВ З НИХ**

Вирішення проблеми побутових відходів є щонайгострішою проблемою населених пунктів. Полігонне поховання зжило себе. Шкода, що наноситься навколишньому середовищу викидами від осередкових спалахів звалищ, просочування в ґрунтові води токсичного фільтрату в сукупності із створюваною небезпечною санітарно-гігієнічною обста-

новкою створює неприйнятні умови розміщення полігонів поховання ТПВ поблизу від населених пунктів при вирішенні проблеми екології міст. Разом з цим доводиться враховувати відсутність вільних земельних ділянок, великих площ для розвитку існуючих полігонів поховання відходів. Спроби застосувати модифіковані технології поховання дозволяють лише тимчасово відтягнути вибух екологічної «бомби» на полігоні.

Екологічна безпека населення і оточуючого природного середовища вимагає широкого впровадження технологічних методів переробки твердих побутових відходів.

Технологія компостування для міських відходів практично не застосовна. Основними чинниками при цьому є вже те, що компостуванню підлягає лише частина відходів, збираних автосподарствами міст. Крім того, якість компосту з міських побутових відходів не дозволяє вносити його до ґрунту через значний вміст осколків скла, кераміки і, що особливо важливе, з'єднань важких металів.

Піролітична переробка відходів не виправдала надій, що покладалися на неї. Досить привести той факт, що країни Європи і Америки не мають жодної діючої промислової установки піролізу побутових відходів.

Сортування і повторне використання вторинних ресурсів в переробних галузях вважається найраціональнішим методом. Тут слід розрізняти сортування на стадії збору відходів і сортування на спеціальних станціях. Звичайно, сподіватися сьогодні, що населення понесе розсортовані відходи в різні контейнери, не доводиться. І річ не лише в тому, що існує недолік виховання, лобювання інших технологій. Справа, в першу чергу, в тому, що для винесення сміття в 4–5 різних контейнерів необхідно на кухні мати 4–5 відер для сміття або пакетів. На кухні площею 4–5, а навіть і 9 квадратних метрів це практично неможливо.

Розбирання відходів на сортувальних станціях для повторного використання компонентів – це сухе сортування різних матеріалів: заліза, кольорових металів, скла, органічних речовин, паперу, інертних матеріалів з твердих побутових відходів. Проте досвід показав, що метод повторного використання не замінює, а лише доповнює інші традиційні системи (поховання на полігонах і спалювання) і що завдання повторного використання як можна більшої кількості матеріалів для одних речовин є нездійсненною з погляду технології, для інших – важкодосяжний з погляду нормативів якості і, що саме головне, для

багатьох з погляду екологічного і санітарного застосування. Окрім вказаних чинників існує ще і економічна проблема. Сортування не вирішує проблему відходів міста, а при сьогоднішніх закупівельних цінах на вторсировину ще і не завжди рентабельна. Саме тому реалізація схеми сортування відходів повинна бути передана від бюджету міст в структуру зацікавлених підприємств по збору і переробці вторинних ресурсів.

Сьогодні вже у всьому світі утвердилась думка про те, що спалювання є необхідним елементом будь-якого методу переробки: воно більше не розглядається як руйнування ресурсів, але, навпаки, як якнайкращий спосіб використання матеріалів з високим енерговмістом. Завжди економічно доцільніше отримуватиме тепло з побутових відходів, які не вимагають будівництва шахт, транспортування на великі відстані, ніж з дорогого вугілля або продуктів переробки нафти.

Існує багато причин вибору цього методу. Основна з них – відповідність санітарно-гігієнічним вимогам, тому сміттєспалювальні станції можуть розташовуватися поблизу житлової забудови, що значно скорочує витрати на вивіз сміття. Станції висококомеханізовані і автоматизовані, обслуговуючий персонал не має контакту з відходами. Спалювання прийняте як оптимальна система практично повного знищення відходів. В світі вважають, що сміттєспалювання вирішує проблему три «Е»: – екологія, енергетика, економіка.

### **Висновки**

При наявній різноманітності технологічних методів найбільш широкого поширення в світі набула термічна переробка твердих побутових відходів. Сміттєспалювальні заводи успішно експлуатуються в багатьох країнах. Істотними причинами для позитивного розвитку методу спалювання твердих побутових відходів є:

- можливість знищення всього міського побутового сміття без попереднього глибокого сортування;
- термічний процес перетворення відходів проходить в порівнянні з іншими методами переробки в істотно коротший термін. Органічні компоненти через гниття перетворюються шляхом окислення повітрям в перебігу однієї-двох годин в природні кінцеві продукти: вуглекислий газ і воду;
- значне зменшення об'єму залишкових продуктів порівняно із сміттям (близько 10% початкового об'єму);

- стерильність і інертність залишкових речовин, які можуть складуватися або застосовуватися в будівництві доріг, у виробництві будівельних матеріалів;
- можливість вилучення з відходів металів з метою подальшого використання як вторинної сировини;
- газоподібні викиди з екологічного погляду, у відмінності від всіх інших систем, можуть контролюватися і регулюватися;
- комбінація спалювання сміття з доцільним отриманням і використанням енергії дозволяє оптимально утилізувати прихований в твердих побутових відходах енергетичний потенціал. Забезпечує вирішення економічних проблем по використанню паливо-енергетичних ресурсів;
- установки по спалюванню сміття можуть розташовуватися недалеко від місця виникнення відходів і потреби в енергії.

УДК 502.5

**Н. Ю. Павлюк**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **DEPOSIT AND RETURN SYSTEMS. ЗАКОНОДАВСТВО**

У 2023 році в ЄС було вироблено 79,7 млн т пакувальних відходів, або 177,8 кг на душу населення. Хоча це на 8,7 кг на душу населення менше, ніж у 2022 році, цей показник все ще на 21,2 кг вищий, ніж у 2013 році [1].

Законодавство ЄС щодо рециклінгу відходів пакування та скороченню їх утворення поширюється на всі пакувальні відходи на європейському ринку.

В 1994 році в Директиві 94/62/ЄС «Про пакування та відходи пакування» (PPWD) [2] були визначені Правила поведінки з відходами пакування. Директива 94/62/ЄС визначила відходи пакування як додаткові джерела сировини, що повинні бути залучені до господарського обігу та встановила мінімальні цільові показники щодо рециклінгу конкретних видів матеріалів, що містяться у відходах пакування.

В 2015 році було прийнято Повідомлення Комісії до Європейського Парламенту, Ради, Європейського Економічно-Соціального Комітету та Комітету Регіонів «Замикання циклу – План дій ЄС щодо циркулярної економіки» [3] в якому зауважується, що в ЄС переробляється менше ніж 25% зібраних пластикових відходів, а близько 50% відправляється на звалища. Задля підвищення рівня переробки пластмас комісія підготує стратегію, спрямовану на вирішення проблем, пов'язаних із пластиком протягом усього ланцюжка створення вартості, та враховує весь його життєвий цикл.

В 2015 році була прийнята Директива «Скорочення використання легких пластикових пакетів» (Директива (ЄС) 2015/720) [4], яка є поправкою до Директиви про пакування та відходи пакування (94/62/ЄС). Директива (ЄС) 2015/720 була прийнята для боротьби з нераціональним споживанням та використанням пластикових пакетів з товщиною стінки менше 50 мікронів (тобто легких пластикових пакетів).

Директива (ЄС) 2015/720 вимагала від держав-членів встановлення національних цільових показників скорочення викидів та/або застосування економічних інструментів (наприклад, зборів, податків).

У 2018 році було прийнято пакет документів щодо утилізації відходів для переходу до економіки замкнутого циклу (Стандарти ROP).

План дій посилював вимоги до ієрархії поводження з відходами, визначені в Рамковій Директиві 2008/98/ЄС, згідно з якою головною метою управління відходами має бути мінімізація їх поховання шляхом запобігання їх утворенню або, при утворенні, насамперед повторного використання та рециклінгу.

Посилення цих вимог визначені у наступних директивах:

- Директиві ЄС 2018/850 (яка замінює директиву ЄС 1999/31 про захоронення відходів). Згідно Директиви ЄС 2018/850, всі відходи, придатні для переробки або іншого відновлення, зокрема побутові відходи, з 2030 року не будуть прийматися на сміттєзвалища, за винятком відходів, для яких поховання на сміттєзвалищах забезпечує найкращий екологічний результат. Частка муніципальних відходів, що підлягають похованню, до 2035 року має бути обмежена 10%.
- Директиві ЄС 2018/851, згідно з якою до 2035 року повторне використання та переробка муніципальних відходів мають бути збільшені до 65%.
- Директиві ЄС 2018/852, яка встановлює кількісні цільові показники повторного використання матеріалів упаковки (таблиця).

**Цільові показники мінімальної частки переробки матеріалів,  
що містяться у відходах пакування**

<b>Частка з переробки відходів пакування, %</b>	<b>до 2025 року</b>	<b>до 2030 року</b>
Всі відходи пакування	65	70
Пластик	50	55
Деревина	25	30
Чорні метали	70	80
Алюміній	50	60
Скло	70	75
Папір та картон	75	85

В 2019 році була прийнята Директива 2019/904 «Про зменшення впливу деяких пластикових виробів на навколишнє середовище» (Директива SUP) [5].

Директиви SUP вимагає від держав-членів взяти необхідних заходів для забезпечення роздільного збору одноразових пластикових пляшок для напоїв місткістю до 3 літрів: 77% до 2025 року та 90% до 2029 року. У ній зазначено систему повернення депозитів як один із можливих заходів, що мають бути впроваджені.

Необхідно гарантувати, що одноразові пластикові пляшки (включаючи кришки та ковпачки) повинні містити: з 2025 року – 25% переробленого пластику, а з 2030 року – 30% переробленого пластику.

Директива SUP рекомендує впровадити депозитно-повертні Системи (DRS) для одноразових пластикових пляшок для напоїв та металевих контейнерів для напоїв. DRS – це система, в якій застава стягується з кінцевого споживача при купівлі упакованого або заповненого продукту, на який поширюється ця система, та погашається при поверненні пакування із заставою через один із каналів збору, дозволених для цієї мети національними органами влади.

21 січня 2025 року Європейська комісія затвердила Регламент (ЄС) 2025/40 про пакування та відходи пакування (PPWR) [6], який запроваджує суворіші правила щодо стійкості пакування та скорочення відходів на всій території ЄС. Регламент 2025/40 PPWR – це нормативний акт Європейського Союзу, спрямований на зменшення кількості відходів пакування, підвищення можливості повторної переробки та сприяння циркулярній економіці.

Відповідно до регламенту PPWR, кожна держава-член буде зобов'язана скоротити кількість відходів пакування на 5% до 2030 року, на 10% до 2035 року та на 15% до 2040 року порівняно з кількістю відходів, що утворилися у 2019 році.

- З 2025 року пластикові пляшки повинні містити щонайменше 25% вторинної сировини, а до 2040 року – вже 50%.
- З 2026 року у ЄС забороняється одноразове пластикове пакування у закладах харчування.
- З 2028 року забороняються мікропластикові наповнювачі.
- До 2030 року все пакування на ринку ЄС має бути придатне для рециклінгу. Пакування, що не піддається переробці, буде заборонено.

Регламент покладає зобов'язання на держави-члени щодо впровадження систем депозиту (DRS) задля роздільного збору до 1 січня 2029 року не менше 90% за вагою наступних форматів пакування, що вперше випускаються на ринок у цій державі-члені цього календарного року:

- одноразові пластикові пляшки для напоїв ємністю до трьох літрів;
- одноразові металеві контейнери для напоїв місткістю до трьох літрів.

Суб'єкт господарювання, який впроваджує продукти, що охоплюються системою повернення депозитів, але не бере участі в системі та не досягає необхідного рівня роздільного збору, або який не досягає необхідного рівня збору під час участі в системі, буде зобов'язаний сплатити збір за продукцію, розрахований стосовно пакування, що введено на ринок, що охоплюється системою повернення депозитів (пакування, що зібране поза системою повернення депозитів, не буде враховуватися для досягнення необхідного рівня збору).

PPWR передбачає, що виробник або імпортер буде зобов'язаний гарантувати, що пакування, що розміщується на ринку, спроектовано таким чином, щоб маса та обсяг були обмежені мінімумом, необхідним для забезпечення її функціональності.

### **Список використаної літератури**

1. Plastic packaging waste in the EU: 35.3 kg per person. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20251022-1>
2. European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1994/62/oj/eng>

3. COMMUNICATION Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy COM (2015) 614 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52015DC0614>

4. Directive (EU) 2015/720 as regards reducing the consumption of lightweight plastic carrier bags. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2015/720/oj/eng>

5. Directive (EU) 2019/904 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=celex%3A32019L0904>

6. REGULATION (EU) 2025/40 on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and repealing Directive 94/62/EC. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2025/40/oj/eng>

УДК 502.5

**Н. Ю. Павлюк**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

## **DEPOSIT AND RETURN SYSTEMS. ВПРОВАДЖЕННЯ В КРАЇНАХ ЄВРОПИ, АЗІЇ, СВІТУ**

Директива (ЄС) 2019/904 про зменшення впливу певних пластикових виробів на навколишнє середовище (SUPD) встановлює вимоги щодо окремого збору не менш, ніж 90% одноразових пластикових пляшок для напоїв місткістю до 3 літрів до 2029 року [1]. Для досягнення цієї мети держави-члени повинні створити системи депозитно-повертних платежів (*deposit and return systems (DRS)*) для одноразових пластикових пляшок та металевих контейнерів для напоїв.

DRS вже діють у 17 європейських країнах. Системою DRS вже користуються біля 180 мільйонів європейців, значно збільшивши темпи збирання та переробки відходів.

У **Німеччині** діє найбільша та найефективніша у світі схема повернення заставної вартості.

Система обов'язкової застави була запроваджена у Німеччині у 2003 році. Спочатку вона поширювалася на одноразову тару з-під мінеральної води, пива та газованих напоїв. У наступні роки застава поширилася і на інші види тари.

У Німеччині практично всі види пляшок (пластикових та скляних) та банок для напоїв за DRS підлягають поверненню до магазину. По-

вернення здійснюється через спеціальні торгові автомати, розташовані поруч із великими магазинами чи всередині них, а в невеликих магазинах – у спеціально відведеної зоні поруч із касою. Торговий автомат видає повернення у вигляді ваучера, який можна використовувати у певному магазині.

У Німеччині діють дві основні системи застави: депозит для одноразової та багаторазової упаковки. Перший тип охоплює, головним чином, одноразові пластикові пляшки та банки з-під напоїв, за які стягується застава у розмірі 0,25 євро. За багаторазове пакування (включаючи скляні пляшки) стягується застава у розмірі 0,08–0,50 євро. Німецький Закон про упаковку заохочує використання багаторазової тари, що також підпадає під систему повернення застави (42% усіх напоїв у Німеччині розливається у багаторазову тару).

У січні 2024 року німецька система була розширена і тепер включає одноразові пластикові пляшки для молока та молочних напоїв із вмістом молока не менше 50%, таких як какао, кавові напої та питні йогурти.

Дієтичні напої для немовлят та дітей, упаковані в одноразові пляшки та інші продукти, звільнені від вимоги внесення застави.

У Німеччині система DRS забезпечує 97–99% повернення одноразових контейнерів для напоїв.

У **Фінляндії** система заставної вартості для одноразової та багаторазової тари почала працювати з 1996 року. У 2023 році за DRS було повернуто 97% тари (90% пластикових пляшок, 99% скляних пляшок, 98% банок).

У **Данії** системи застави за пляшку «flaskerant» була запроваджена ще наприкінці XIX століття, коли деякі молочні заводи стягували її за скляні пляшки для молока. У 1922 році броварні впровадили першу систему «rantsystem» – систему застави за пляшку пива. У 1993 році вона була розширена і почала включати пластикові пляшки.

Система обов'язкової застави була запроваджена у Данії у 2002 році. Показник повернення тари за DRS у 2023 році – 92% (91% пластикових пляшок, 88% скла та 93% банок).

**Норвегія** також була однією з перших країн у світі, яка створила систему повернення застави для багаторазових пляшок, причому система для багаторазової скляної тари була вперше введена ще в 1902 році, а автоматизоване повернення цих скляних пляшок через автомати з прийому зворотної тари вперше з'явилося на початку 1970-х років.

Система для одноразової тари, включаючи банки та ПЕТ, була введена в 1999 році завдяки унікальному фактору: екологічному по-

датку, що стягувався норвезьким урядом. До серпня 2018 року також збиралося скляне пакування.

Виробники напоїв сплачують базовий податок на всю одноразову тару, а також змінний екологічний податок, який знижується зі збільшенням відсотка повернення. Тара із відсотком повернення 95% і більше звільняється від екологічного податку, що створює для виробників вагомий фінансовий стимул брати участь у програмі DRS та добиватися максимально можливого відсотка повернення.

У 2023 році Норвегія досягла загального рівня повернення тари 92,3% (92,3% пластикових пляшок та 92,5% банок). Кожен магазин, який продає напої у пластиковій або алюмінієвій упаковці, зобов'язаний прийняти пакування та надати заставу у розмірі 2–3 крон залежно від обсягу. Особи, що здали пляшки або банки, можуть відмовитися від отримання грошей і взяти участь у лотереї, організованій Норвезьким Червоним Хрестом, із призовим фондом до 1 мільйона крон [2].

Очікується, що найближчими роками Норвегія зможе досягти рівня збору 93% завдяки збільшенню суми застави. Хоча Норвегія не входить до Європейського Союзу, вона дотримується рекомендацій ЄС та цілей Директиви ЄС про одноразовий пластик, встановлений для держав-членів, і вже досягає цих цілей.

У **Швеції** для алюмінієвих банок система застави запроваджена з 1983 року, а для ПЕТ-пляшок – з 1994 року. В 2024 році рівень повернення пляшок та банок за DRS був 89% (86% пластикових пляшок, 90% банок). З вересня 2025 року розмір застави за маленьку ПЕТ-пляшку або алюмінієву банку збільшився з 1 до 2 крон, а за велику ПЕТ-пляшку – з 2 до 3 крон.

У **Нідерландах** система застави працювала з 2005 року і поширювалась на ПЕТ-пляшки. З 2021 року система була розширена на невеликі пляшки з-під напоїв, скляні пляшки, а з 2023 року – на банки. Розмір застави становить від 0,15 до 0,25 євро, залежно від упаковки. Повернення коштів здійснюється у торгових автоматах супермаркетів, на касі видається чек, а сума повернення за пляшку списується з рахунку. Рівень повернення пляшок та банок в 2023 році становив біля 68%.

**Хорватія** впровадила систему застави у 2006 році. В 2022 році було зібрано 79% тари (87% пластикових пляшок, 77% скляних пляшок, 80% банок).

**Литва** впровадила систему застави у 2016 році, маючи рівень повернення менш ніж 34%. У 2023 році у Литві показник повернення

тари за DRS становив 92,3% (91,2% пластикових пляшок, 88,8% скляних пляшок, 94,1% банок).

**Латвія** впровадила систему DRS у 2022 році. У 2024 році було повернуто 83% тари (90% пластикових пляшок, 99% скляних пляшок, 98% банок).

В **Естонії** система обов'язкової застави була запроваджена з 2005 року. В 2023 році показник повернення тари за DRS становив 89% (89% пластикових пляшок, 88% скляних пляшок, 85% банок).

**Ісландія** запровадила систему застави у 1989 році. В 2023 році показник повернення тари за DRS був 88,5% (88,2% пластикових пляшок, 83,5% скляних пляшок, 90,1% банок).

У **Мальті** система DRS працює з 2022 року. В 2023 році було повернено 81% пластикових пляшок.

У **Словаччині** система DRS працює з 2022 року. Показник повернення тари за DRS в 2023 році становив 92% (92% пластикових пляшок, 93% банок).

Нещодавно запустили депозитні системи Румунія (листопад 2023 р.), Угорщина (січень 2024 р.), Ірландія (лютий 2024 р.).

В **Австрії** з 1 січня 2025 року діє загальнонаціональна система застави за пляшки та банки. Застава складає 25 центів за тару та стягується за всі пляшки (скляні та пластикові) та банки ємністю від 0,1 до 3 літрів. Тару можна здати в пунктах прийому або через торговельні автомати, які розташовані в магазинах. Застава зазвичай повертається як чек або купон.

**Португалія** оголосила про початок роботи із DRS у 2026 році.

**Шотландія, Англія та Уельс у Великій Британії** мають намір запровадити DRS найближчими роками.

**Франція** поки що не ухвалила рішення про впровадження системи застави. У деяких роздрібних мережах покупці можуть здати пластикові пляшки на переробку в обмін на невеликі суми у вигляді купонів на покупки.

Однак влітку 2025 року чотири регіони на північному заході Франції запустили пробну систему застави для скляних пляшок. Програма з повторного використання упаковки охопить близько 16 мільйонів жителів цих регіонів та проходитиме тестування протягом півтора роки. Пляшки, що підлягають переробці, можна здати до супермаркетів. Покупці, які повертають пляшки, автоматично отримують повернення коштів готівкою на банківську картку або у вигляді подарункового сертифіката (10 центів за маленьку пляшку, 20 центів за велику). Надалі система буде розширено і на алюмінієві банки.

В **Італії** система застави діє лише на місцевому рівні, в окремих містах; загальнонаціональної системи немає. Кілька років тому в Римі та Мілані було запроваджено систему збору балів за здачу пластикових пляшок з-під напоїв у спеціальні автомати на станціях метро. У Римі такі автомати встановлені на восьми станціях метро. За кожну пляшку видається ваучер номіналом 5 євроцентів, а за 30 пляшок – проїзний квиток.

У **Бельгії** немає загальнонаціональної системи депозиту. Замість неї діє система роздільного збирання відходів, де мешканці сортують відходи у спеціальні пакети. Застава стягується лише на місцевому рівні, наприклад, за повернення скляних пляшок або під час продажу пива в ящиках.

Систему застави та повернення платежів використовують для збору тари з-під напоїв, такої, як банки та скляні/пластикові пляшки задля переробки більше 50 регіонів по всьому світу. До них належать окрім 17 європейських країн усі штати Австралії, 10 штатів США, майже вся Канада, багато країн Азії.

В **Ізраїлі** з 2001 року діє система повернення застави за скляну, пластикову та металеву тару для напоїв об'ємом від 100 мл до 1,5 літра. У 2021 році її було розширено і тепер поширюється на ємності об'ємом до 5 літрів. Застава складає 0,3 шекеля за тару і може бути повернена готівкою у будь-якому продуктовому магазині площею понад 28 квадратних метрів.

У **Південній Кореї** з 1985 року діє програма утилізації скляної тари (з поправками, внесеними у 2003 році). Споживачі платять зворотну заставу у розмірі близько 26 центів за пляшки з-під соку та невеликі пивні пляшки (до 400 мл) та 34 центи за великі пивні пляшки (від 400 до 1000 мл). Ці пляшки можна здати до супермаркетів та інших спеціалізованих пунктів прийому та отримати грошове повернення.

**Сінгапур** запроваджує систему застави за тару для напоїв. З квітня 2026 року споживачі сплачуватимуть додаткову заставу у розмірі 0,28 цента за пластикову та металеву тару для напоїв. Ця заставка буде повернена після здачі порожньої тари до спеціальних пунктів збору або через автомати з повернення.

У **Японії** відсутня єдина національна система застави, хоча сортування та переробка відходів дуже високі. З 1974 року діє проєкт зі збору пивних пляшок, ініційований п'ятьма найбільшими виробниками пива. Споживачі платять заставу у розмірі 5 ієн за пивні пляшки, яку вони отримують назад при здачі пляшки. Ця система керується пиво-

варними заводами та забезпечує відсоток повернення понад 95%. Крім того, деякі супермаркети та роздрібні магазини встановили автомати з повернення, які замість повернення застави готівкою винагороджують користувачів балами на покупки.

На **Тайвані** система не стягує із споживачів заставу безпосередньо. Виробники та імпортери зобов'язані вносити внески до центрального фонду переробки, що субсидує переробників. У країні реалізується низка ініціатив, наприклад, розумні кіоски з переробки відходів іTrash у таких містах, як Тайбей, де можна поповнити проїзний квиток на громадський транспорт балами за здачу порожніх пляшок і банок. Крім того, деякі компанії та ресторани пропонують своєрідну заставну систему за здачу упаковки або пляшок.

У **Малайзії** також немає загальнонаціональної системи, але приватні компанії проводять пілотні проєкти з тестування пристроїв для повернення упаковки. Ці ініціативи часто є частиною програм корпоративної соціальної відповідальності, а не державної системи.

Більше 50 регіонів по всьому світу використовують схему повернення депозиту (DRS) для переробки тари з-під напоїв, такої як скляні/пластикові пляшки та банки. Окрім 17 європейських країн, система працює в усіх штатах Австралії, в 10 штатах США та майже всій Канаді, в багатьох країнах Азії. До кінця 2024 року по всьому світу працювали загалом 59 систем повернення депозитів для збирання та переробки одноразової тари з-під напоїв. Ці системи охоплюють понад 473 мільйони осіб.

### Список використаної літератури

1. DIRECTIVE (EU) 2019/904 “On the reduction of the impact of certain plastic products on the environment”. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/904/oj/eng>
2. <https://www.tomra.com/reverse-vending/media-center/feature-articles/norway-deposit-return-scheme>

**DEPOSIT AND RETURN SYSTEMS.  
ВПРОВАДЖЕННЯ У ПОЛЬЩІ**

Рішення Комісії ЄС 2023/2683 [1] встановлює обов'язкове підвищення вмісту переробленого пластику в одноразових пластикових пляшках для напоїв, включаючи ПЕТ-пляшки, та встановлює амбітні цілі щодо вмісту переробленого пластику у ПЕТ-пляшках для напоїв:

- 2025 рік – щонайменше 25%;
- 2030 рік – щонайменше 30%.

Система депозитів має забезпечити чистий потік ПЕТ-пляшок. До 2029 року всі країни ЄС повинні досягти 90% рівня роздільного збору пакувальних відходів від пластикових пляшок для напоїв.

Поточний метод збирання відходів упаковки у Польщі дозволяє зібрати в жовтому контейнері чи мішку для роздільного збирання лише близько 45% ПЕТ-пляшок, що надходять на ринок.

1 жовтня 2025 року в країні набула чинності система застави та повернення коштів за продаж продуктів в одноразовій або багаторазовій упаковці для напоїв або відходів, що утворилися з упаковки, на яку поширюється система повернення депозиту (система DRS). Основна мета системи DRS – збільшити обсяг роздільного збору упаковки для напоїв та досягти цільових показників ЄС із переробки.

Система повернення депозиту розрахована на роботу по замкнутому циклу: споживач купує напій в упаковці із заставою та після його використання повертає упаковку до пункту прийому, отримуючи назад внесену раніше заставу. Відповідно до принципу розширеної відповідальності виробника, організації, що випускають напої в упаковці, що підпадає під DRS, фінансуватимуть цю депозитно-поворотну систему. Система застави та повернення платежів покликана стимулювати споживачів до повернення упаковки.

*Принципи роботи системи DRS*

1. Упаковка, на яку поширюється система, маркується відповідним чином логотипом депозитної системи. Без логотипу заставка за упаковку не стягується.

2. При купівлі напою в упаковці з логотипом із покупця стягується депозит.
3. Депозит можна отримати при поверненні упаковки. Упаковка повинна бути порожньою, неушкодженою, мати штрих-код на етикетці і логотип депозитної системи. Депозит вказується в чеку окремим рядком. При поверненні упаковки не обов'язково пред'являти чек.
4. Усі торгові точки, незалежно від району, що пропонують напої в упаковці, яка підпадає під дію системи, стягують заставу.

*Система DRS поширюється:*

- з 1 жовтня 2025 року на:
  - пластикові пляшки (до 3 літрів, застава 0,5 злотих);
  - металеві банки (до 1 літра, застава 0,5 злотих).
- з 1 січня 2026 року на:
  - багаторазові скляні пляшки (до 1,5 літра, застава 1 злотий).

*Система DRS не поширюється на:*

- пластикові пляшки з-під молока та молочних напоїв (кефір або йогурт);
- картонне пакування, наприклад, з-під соків;
- упаковку непитної продукції.

Пластикові пляшки та банки без знаку «система застави» слід викидати в жовтий контейнер для сміття.

Система застави та повернення платежів застосовується до суб'єктів, які реалізують напої в упаковці (виробників, імпортерів, дистриб'юторів), а також до підприємств роздрібною торгівлі. Обсяг зобов'язань варіюється в залежності від профілю діяльності та розміру торгової точки:

- Магазины площею понад 200 м<sup>2</sup> зобов'язані приймати використану тару та повертати заставу покупцям.
- Магазины площею менше ніж 200 м<sup>2</sup> можуть добровільно приєднатися до системи, але з 2026 року вони будуть зобов'язані збирати багаторазові скляні пляшки.
- Підприємці, які випускають напої (понад 100 тис. ємностей на рік), зобов'язані приєднатися до системи або платити збір за продукт (який значно зросте з 2026 року).
- Нові правила поширюються і на компанії, які здійснюють онлайн-продаж. У цьому випадку підприємці також зобов'язані організувати повернення упаковки, наприклад, через партнерські пункти прийому або через систему зворотної логістики.

*Оператор* депозитної системи має ключову роль у всьому механізмі. Він відповідає за організацію всієї інфраструктури системи, збирання упаковки у пунктах повернення, сплату депозитів та забезпечення переробки. Оператор організує вивезення зібраної упаковки та займається її переробкою.

Компанії, що реалізують продукцію у зворотній упаковці, зобов'язані вести точний облік кількості введеної упаковки та повідомляти ці дані оператору системи, а також вести документацію, що підтверджує дотримання зобов'язань з переробки.

### *Штрафи за недотримання нових правил*

До підприємств, які не виконують зобов'язання, що впливають із запровадження депозитно-поворотної системи, застосовуватимуться санкції. Штрафи будуть застосовуватись не лише за неучасть у депозитно-поворотній системі, а й за недотримання встановлених норм утилізації.

Якщо відповідного рівня переробки не буде досягнуто, її будуть зобов'язані платити як виробник, так і оператор системи.

Система депозитів не буде простою формальністю – її правильна реалізація має стати елементом ринкової та екологічної відповідності підприємця і надалі може підтвердити ринкові позиції компанії.

Очікується, що у період з 2025 по 2028 рік рівень роздільного збору одноразових пластикових пляшок (до 3 літрів), металевих банок (до 1 літра) та багаторазових скляних пляшок (до 1,5 літра) досягне 77%. З 2029 року система застави та повернення повинна збільшитись до 90%.

### **Список використаної літератури**

1. Commission Implementing Decision (EU) 2023/2683 of 30 November 2023 laying down rules for the application of Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council as regards the calculation, verification and reporting of data on recycled plastic content in single-use plastic beverage bottles. [https://eur-lex.europa.eu/eli/dec\\_impl/2023/2683/oj/eng](https://eur-lex.europa.eu/eli/dec_impl/2023/2683/oj/eng)

## **ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ВНУТРІШНЬОБУДИНКОВИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ**

Питання оптимального вибору систем опалення для житлового фонду в контексті сучасної енергетичної трансформації та зростання вимог до енергоефективності будівель набуває особливої актуальності. В Україні, де історично домінували системи централізованого теплопостачання, протягом останніх десятиліть спостерігається стійка тенденція до децентралізації, зокрема в житловому секторі.

Одним із ключових напрямів зазначеної децентралізації є впровадження поквартирних систем опалення як альтернативи традиційному теплопостачанню. Перехід від централізації до децентралізації зумовлений багатьма факторами, зокрема, економічного та технічного характеру – фізична зношеність теплових мереж, значні тепловтрати, істотне зростання тарифів, а також бажання споживачів отримати більшу автономність у регулюванні температурного режиму та споживанні ресурсів сприяли зростанню популярності альтернативних рішень у сфері індивідуального теплопостачання.

Особливий інтерес становлять поквартирні системи з незалежним підключенням, за яких кожна квартира забезпечується тепловою енергією від власного джерела теплопостачання, що не залежить від внутрішньобудинкових мереж. Такі системи забезпечують підвищену гнучкість, точність регулювання та надають споживачам можливість самостійно контролювати обсяги споживання й витрати на опалення. У цьому контексті мета даної роботи полягає у простеженні історії розвитку поквартирних систем опалення в Україні, аналізі технічних аспектів їхнього впровадження, а також у визначенні перспектив поширення систем із незалежним підключенням.

Історично розвиток поквартирних систем опалення можна поділити на чотири етапи.

**Перший етап (1930–1990 рр. XX століття).** Централізоване теплопостачання розглядалося як найбільш раціональний і зручний спосіб забезпечення теплом багатоквартирного житлового фонду. Відповідно, переважна більшість житлових кварталів та мікрорайонів проектувалася з урахуванням підключення до централізованих джерел тепло генерації – міських і районних котелень або теплоелектроцентралей. Подача теплової енергії здійснювалася розгалуженою системою теплових мереж, а споживачі фактично були позбавлені можливості впливати на інтенсивність або графік подачі тепла. На переконання експертів того часу, централізована система мала свої переваги – централізований контроль, відносно низька собівартість тепла (на тлі дешевих енергоресурсів), стандартизовані інженерні рішення. Водночас саме в цей період формувалися й передумови майбутніх проблем: залежність від стану магістральних мереж, фізична зношеність теплових мереж, неефективний розподіл теплової енергії, значні тепловтрати, а також обмежені можливості індивідуального регулювання температурного режиму.

**Другий етап (1990–2000-ті рр.).** Розпад Радянського Союзу призвів до глибокої кризи системи централізованого теплопостачання. Сукупність чинників, а саме фізична зношеність теплових мереж, технічна застарілість обладнання, постійне недофінансування комунального господарства, а також різке зростання цін на енергоносії та природний газ зробили централізоване теплопостачання малоєфективним та в окремих випадках збитковим. У цей період починають масово з'являтися перші комбіновані поквартирні системи опалення. Як друге джерело теплопостачання найчастіше використовували газові котли, що встановлювалися самими споживачами. Нерідко монтування таких систем проводилося без належних технічних дозволів, що створювало потенційні експлуатаційні та безпекові ризики. Тенденція впровадження комбінованих поквартирних систем опалення спостерігалася в регіонах із нестабільним або нерегулярним проходженням опалювальних сезонів, де споживачі прагнули отримати мінімально необхідний рівень автономності та надійності теплопостачання.

**Третій етап (2000–2010-ті рр. XXI століття).** У цей період у багатьох регіонах України місцеві органи влади розпочали процес легалізації та навіть стимулювання переходу споживачів від централізованого теплопостачання до індивідуальних систем опалення, адже переваги були очевидними – з'являлася можливість самостійного визначення початку та завершення опалювального сезону незалежно від графіків подачі тепла централізованим джерелом теплопостачання

(тепломережею), більш точного контролю над споживанням та витратами теплової енергії. У регіонах із недостатнім або нестабільним газопостачанням починають застосовувати електричні котли як альтернативу газовим, що розширювало технологічні можливості поквартирних систем опалення та сприяло подальшому розширенню джерел теплогенерації.

#### **Четвертий етап (2010-ті рр. XXI століття – теперішній час).**

Глобальні тенденції щодо підвищення енергоефективності та декарбонізації, енергетична криза 2014 року, зростання тарифів зумовили в Україні новий етап розвитку децентралізованих систем опалення.

У цей період спостерігається активне впровадження сучасні інженерні рішення, зокрема впровадження індивідуальних теплових пунктів (ІТП) на рівні квартири або під'їзду, будівництво та застосування міні котельних та розвиток систем з незалежним підключенням.

У південних та західних регіонах значна кількість будинків була масово відключена від централізованого теплопостачання та переведена на автономні опалення. Паралельно почали з'являтися програми державної підтримки енергоефективних рішень, спрямованих на утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій, модернізацію інженерних систем, установлення сучасних опалювальних приладів і засобів обліку енергоресурсів.

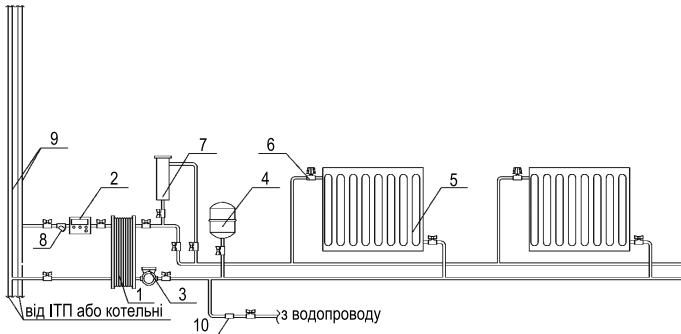
Проаналізувавши етапи розвитку, можна дійти висновку, що залежно від типу використовуваного енергоносія та особливостей технічної реалізації. Такі системи опалення поділяються на кілька основних типів: поквартирні системи з газовими котлами, з електричними котлами та з тепловими насосами.

Поквартирні системи з незалежним підключенням представляють собою сучасне інженерне рішення децентралізованого теплопостачання, за якого кожна квартира забезпечується тепловою енергією від індивідуального джерела або окремого вузла підключення. Іншими словами, це опалювальна система конкретної квартири, яка функціонує як автономна одиниця і не пов'язана з інженерними системами сусідніх помешкань, що забезпечує максимальну самостійність у регулюванні теплового режиму та споживанні енергоресурсів.

На рисунку зображено принципову схему рекомендованої поквартирної системи опалення з незалежним підключенням, що передбачає можливість роботи з двома джерелами теплопостачання.

Як видно зі схеми, незалежна поквартирна система опалення з двотрубним горизонтальним розведенням трубопроводів дозволяє тех-

нічно просту та економічно ефективну реалізацію індивідуального або квартирного теплового пункту у межах кожної квартири. Установка квартирної лічильника теплової енергії на вводі здійснює повний облік спожитої теплової енергії у будь-який момент часу або за обраний період – день, тиждень, місяць чи рік.



**Рисунок.** Схема поквартирної системи опалення з незалежним підключенням та двома джерелами теплопостачання:  
1 – пластинчастий теплообмінник; 2 – квартирний лічильник теплової енергії; 3 – циркуляційний насос; 4 – розширювальний бак; 5 – нагрівальний прилад; 6 – терморегулятор фірми «Danfoss»; 7 – електричний котел; 8 – фільтр; 9 – стояки; 10 – зворотний клапан.

Варто зазначити, що запропонована схема незалежного підключення включає низку важливих технічних аспектів. По-перше, наявність пластинчастого теплообмінника забезпечує можливість підключення альтернативного джерела теплопостачання, наприклад електричного котла, що дозволяє споживачу самостійно визначати початок і завершення опалювального періоду, незалежно від графіків незалежно від графіків централізованого теплопостачання. По-друге, компактні індивідуальні системи можуть бути одноразово заповнені якісно підготовленим теплоносієм, що зменшує потребу в регулярному підживленні системи деаерованою водою та мінімізує експлуатаційні витрати. По-третє, гідравлічне розділення зовнішнього і внутрішнього контурів забезпечує високу надійність і стабільність роботи системи, а також дає змогу організувати незалежне індивідуальне регулювання теплопостачання для кожної квартири. Нарешті, зниження напору циркуляційних насосів на центральному тепловому пункті дозволяє скоротити загальне споживання електроенергії, підвищуючи енергоефективність системи в цілому.

У таблиці наведено їхні ключові переваги та недоліки, що дає можливість здійснити порівняльну оцінку різних варіантів теплопостачання.

Таблиця

**Тип поквартирних систем опалення**

№ з/п	Тип систем опалення	Переваги	Недоліки
1	Поквартирні з газовими котлами	Висока потужність та ефективність	Необхідність димо-видалення та вентиляції
		Незалежність від централізованого джерела теплопостачання	Ризики при неправильній експлуатації
		Можливість індивідуального налаштування режиму роботи	Обмеження на встановлення в багатоквартирних будинках
2	Поквартирні з електричними котлами	Простота монтажу	Високе навантаження на електромережі
		Відсутність викидів і необхідність у димоході	Залежність від стабільності електропостачання
3	Поквартирні з тепловими насосами	Низьке енергоспоживання	Висока вартість установки
		Можливість роботи на обігрів і охолодження	Ефективність знижується за дуже низьких температур
		Екологічність	Необхідність теплоізоляції будівлі для досягнення оптимального результату

Проаналізувавши історію розвитку поквартирного опалення в Україні, можна зробити висновок, що нині спостерігається поступовий перехід від застарілих централізованих систем до сучасних енергоефективних рішень. В умовах високих тарифів, фізичної зношеності інженерної інфраструктури та прагнення до енергетичної автономності, саме поквартирні системи з незалежним підключенням демонструють баланс між комфортом, економічною ефективністю та гнучкістю управління теплопостачанням. Крім того, такі системи відповідають вимогам енергоощадного та «розумного» житла, що стає ключовим елементом сучасних тенденцій у сфері цивільної інженерії.

Є. Й. Бикоріз<sup>1</sup>, С. В. Плашихін<sup>1,2</sup>, Ю. М. Магєра<sup>1</sup>,  
В. В. Чернокрилок<sup>1</sup>, В. Я. Стасюк<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

## **ПРОБЛЕМИ СТАБІЛЬНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ МУНІЦИПАЛЬНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ**

Стабільність та надійність енергопостачання є критично важливими елементами функціонування будь-якої енергетичної системи, зокрема у контексті муніципального рівня, де збій в подачі електроенергії може спричинити масштабні соціально-економічні наслідки. У сучасних умовах, особливо з огляду на деструктивні виклики війни в Україні, питання надійності енергопостачання стало ще актуальнішим.

Проблеми стабільності виникають як внаслідок технічної зношеності інфраструктури, так і через зовнішні чинники, зокрема – цілеспрямовані атаки на об'єкти критичної інфраструктури.

Фізична деградація енергетичної інфраструктури – одна з найсерйозніших причин зниження стабільності електропостачання. Більшість мережевого обладнання, що використовується в українських містах, має вік понад 30 років, що перевищує нормативний строк експлуатації. Через це зростає ризик аварій, знижується ефективність передачі електроенергії та зростають втрати [1].

Окрім зношеності обладнання, важливу роль у стабільності системи відіграє відсутність резервів. У багатьох містах навіть тимчасове виведення з ладу одного трансформатора призводить до масштабних знеструмлень. Брак автоматизованих систем обліку та управління лише поглиблює цю проблему.

Атаки на енергетичну інфраструктуру з боку ворога стали новою загрозою для стабільності. Ракетні удари та атаки дронами-камікадзе на об'єкти генерації та розподілу електроенергії в Україні у 2022–2024 роках призвели до масових перебоїв у подачі електроенергії. Це вимагає нових підходів до захисту об'єктів енергетики, включно з їх фізичним укріпленням та децентралізацією генерації.

Під час масованих атак зимового періоду 2022–2023 рр. пошкодження зазнали понад 50% основних енергетичних об'єктів країни. Це продемонструвало вразливість централізованої енергосистеми та підкреслило необхідність посилення локальних (муніципальних) джерел резервного електропостачання.

Кіберзагрози – ще один актуальний виклик для муніципальної енергетики. Україна вже має приклади успішних кібератак на енергетичну систему, зокрема інциденти 2015 і 2016 років, коли хакери зламали системи диспетчерського управління (SCADA), залишивши без електроенергії тисячі домогосподарств [2].

Системи автоматизованого керування, які використовуються для розподілу електроенергії, часто не мають належного захисту. Особливо вразливими є невеликі муніципальні компанії, що не мають ресурсів для забезпечення кібербезпеки.

До значущих чинників, що впливають на стабільність енергопостачання, належать природні явища – буревії, грози, обмерзання, сильні снігопади та спека. Ці явища можуть спричинити обриви ліній електропередачі (ЛЕП), перевантаження трансформаторів або аварійне відключення генераторних потужностей. У 2021–2023 роках в Україні було зафіксовано численні випадки аварій саме з цих причин, зокрема внаслідок обледеніння повітряних ліній у західних регіонах.

Глобальні кліматичні зміни також вносять свої корективи. Наприклад, зростання середньорічної температури спричиняє збільшення навантаження на електромережі влітку через масове використання кондиціонерів. У муніципальних мережах, не розрахованих на пікові навантаження, це часто призводить до перевантажень і відключень.

Одним із системних бар'єрів для підвищення надійності муніципального енергопостачання є відсутність чіткої моделі управління енергетичною інфраструктурою на місцях. Більшість муніципалітетів не мають у своєму розпорядженні необхідної технічної експертизи, даних або повноважень для ефективного управління енергетичними системами. Відсутність енергетичних менеджерів, слабка координація з операторами системи розподілу (ОСР) та брак стратегічного планування лише поглиблюють вразливість.

Крім того, нерідко відсутній дієвий моніторинг технічного стану локальних систем. Планово-попереджувальні ремонти проводяться не системно, а реагування на аварії – переважно у ручному режимі, без використання аналітики та прогнозування.

Низький рівень інвестицій у муніципальну енергетичну інфраструктуру є ще одним чинником, що суттєво обмежує можливості модернізації систем розподілу електроенергії. Через брак фінансування муніципалітети змушені експлуатувати застаріле обладнання, відкладати оновлення трансформаторних підстанцій, ліній електропередач і систем релейного захисту. У середньому, за оцінками Української енергетичної асоціації, щорічний дефіцит інвестицій у міську електроінфраструктуру перевищує 10 млрд грн.

Низькі тарифи для населення, що дотуються державою, не покривають витрат на обслуговування мереж і не стимулюють муніципалітети до інвестування в розвиток. Ба більше, багато місцевих енергокомпаній мають значну кредиторську заборгованість перед НЕК «Укренерго» та іншими структурами, що унеможливило оновлення активів.

Однією з найбільших вразливостей муніципальної енергетики України є залежність від централізованих джерел генерації, які часто розташовані далеко від споживачів. У разі пошкодження магістральних ЛЕП або аварій на великих електростанціях муніципальні мережі залишаються без електроенергії, не маючи достатньої кількості локальних генераторів або резервних джерел живлення.

Ця ситуація погіршується через брак інтеграції відновлюваних джерел енергії у локальні системи. Навіть у містах, де встановлено сонячні панелі на комунальних об'єктах, відсутність накопичувачів електроенергії не дозволяє забезпечити резервне живлення під час надзвичайних ситуацій.

Для забезпечення надійного електропостачання на муніципальному рівні застосовуються кілька технологічних рішень, які вже довели свою ефективність в умовах зростаючих викликів. Одне з них – розгортання інтелектуальних мереж (smart grids), що дозволяють автоматизувати контроль за навантаженнями, знижувати втрати електроенергії, локалізувати аварії та оперативно їх усувати. Розумні системи управління дають змогу прогнозувати пікові навантаження та запобігати перевантаженням у вузьких місцях.

Також дедалі ширше застосовуються автоматизовані системи диспетчерського керування (SCADA), які забезпечують централізований моніторинг стану електромереж у реальному часі. У кількох українських громадах (наприклад, Вінниця, Житомир) такі системи вже впроваджені в рамках проєктів з підвищення енергоефективності та безпеки постачання [3].

Ще одним важливим напрямом є встановлення джерел резервного живлення: дизель-генераторів, систем безперебійного живлення (UPS) і модульних акумулявальних батарей. Наприклад, в умовах війни 2022–2024 років такі рішення стали ключовими для стабільної роботи об'єктів критичної інфраструктури (водоканалів, лікарень, освітніх закладів).

Одним із довгострокових стратегічних рішень є розвиток децентралізованих енергетичних систем, зокрема мікрогрід (microgrid) – локальних енергосистем, які здатні функціонувати автономно у разі відключення від загальної мережі. Такі системи зазвичай включають відновлювані джерела енергії (ВДЕ), акумулятори, керування навантаженням і цифрову автоматику. Мікрогріди дозволяють громадам стати менш залежними від магістральної інфраструктури та забезпечують більшу стійкість у разі надзвичайних ситуацій [4].

Для муніципалітетів України такий підхід є надзвичайно перспективним, з огляду на військові ризики та крихкість централізованої інфраструктури. Пілотні проекти з мікрогрід-інфраструктури вже запущені у Львівській, Чернівецькій та Дніпропетровській областях у партнерстві з міжнародними донорами.

У цифрову епоху не менш важливим є захист енергетичної інфраструктури від кібератак, що можуть паралізувати роботу енергосистем. Україна вже має досвід таких атак (наприклад, атака на енергетичні компанії у грудні 2015 року), наслідком яких стали масштабні відключення. Для муніципальних енергетичних підприємств критично важливо впроваджувати системи захисту інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), резервне копіювання даних і кібертренування персоналу [5].

Зростання стабільності енергопостачання неможливе без підвищення інституційної спроможності муніципалітетів. Необхідно посилити функцію енергетичного менеджменту в містах, створити постійно діючі аналітичні підрозділи, які б забезпечували планування потужностей, аналіз втрат, управління попитом і реагування на кризові ситуації. Варто запроваджувати енергетичні паспорти громад та розробляти середньо- і довгострокові плани розвитку локальної енергетики.

У цьому контексті важливою є співпраця органів місцевого самоврядування з науковими установами, міжнародними донорами (GIZ, USAID, ЄБРР), а також з бізнесом у сфері енергетичних сервісних компаній (ESCO). Такі партнерства дозволяють впроваджувати інновації, залучати інвестиції та поширювати кращі практики.

Стабільність та надійність енергопостачання на муніципальному рівні є надзвичайно багатовимірним викликом, що вимагає одночасного врахування технічних, фінансових, управлінських і природних факторів. Застаріла інфраструктура, зростаючі навантаження, вплив бойових дій та кліматичних ризиків потребують негайної модернізації підходів. Ключовими напрямками забезпечення стійкості енергосистем є цифровізація, децентралізація, впровадження мікрогрідів, розвиток локальної генерації, а також формування ефективної інституційної архітектури управління енергетикою в громадах.

## **Висновки**

Під час масованих атак зимового періоду 2022–2023 рр. пошкодження зазнали понад 50% основних енергетичних об'єктів країни. Це продемонструвало вразливість централізованої енергосистеми та підкреслило необхідність посилення локальних (муніципальних) джерел резервного електропостачання.

Системи автоматизованого керування, які використовуються для розподілу електроенергії, часто не мають належного захисту. Особливо вразливими є невеликі муніципальні компанії, що не мають ресурсів для забезпечення кібербезпеки.

Відсутній дієвий моніторинг технічного стану локальних систем. Планово-попереджувальні ремонти проводяться не системно, а реагування на аварії – переважно у ручному режимі, без використання аналітики та прогнозування.

У середньому щорічний дефіцит інвестицій у міську електроінфраструктуру перевищує 10 млрд грн.

Однією з найбільших вразливостей муніципальної енергетики України є залежність від централізованих джерел генерації, які часто розташовані далеко від споживачів. У разі пошкодження магістральних ЛЕП або аварій на великих електростанціях муніципальні мережі залишаються без електроенергії, не маючи достатньої кількості локальних генераторів або резервних джерел живлення.

Технологічні рішення для підвищення стабільності: розгортання інтелектуальних мереж (smart grids), що дозволяють автоматизувати контроль за навантаженнями, знижувати втрати електроенергії, локалізувати аварії та оперативно їх усувати; застосування автоматизованих систем диспетчерського керування (SCADA); встановлення джерел резервного живлення: дизель-генераторів, систем безперебійного живлення (UPS) і модульних акумулявальних батарей; розвиток децент-

ралізованих енергетичних систем, зокрема мікрогрід (microgrid) – локальних енергосистем; впровадження системи захисту інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), резервне копіювання даних і кібертронування персоналу.

Необхідним фактором інституційної модернізації є співпраця органів місцевого самоврядування з науковими установами, міжнародними донорами (GIZ, USAID, ЄБРР), а також з бізнесом у сфері енергетичних сервісних компаній (ESCO).

### **Список використаної літератури**

1. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Річний звіт про стан функціонування енергетичних систем України. Київ : НКРЕКП, 2023. С. 42–71.

2. USAID. Energy Security Project (ESP): Ukraine Distribution Network Assessment. Київ, 2022. С. 19–56.

3. GIZ. Інноваційні рішення у муніципальних енергетичних системах. Проєкт «Партнерство з містами». 2022.

4. IRENA. Innovation Landscape Brief: Microgrids. Abu Dhabi : IRENA, 2021. С. 9–39.

5. ENCS – European Network for Cyber Security. Cybersecurity of energy systems. Brussels, 2021.

УДК 697.34

**Є. Й. Бикоріз<sup>1</sup>, С. В. Плашихін<sup>1,2</sup>, Ю. М. Магера<sup>1</sup>,  
В. В. Чернокрилюк<sup>1</sup>, Ю. В. Мельниченко<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*

## **СТРУКТУРА ТА ОСОБЛИВОСТІ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА МУНІЦИПАЛЬНОМУ РІВНІ**

Електроенергія є ключовим ресурсом, що забезпечує життєдіяльність сучасних міст та громад. На муніципальному рівні електроспоживання має складну структуру, зумовлену різноманітністю секторів, що споживають енергію: побутовим, комунальним, промисловим,

транспортним та ін. Розуміння особливостей споживання, а також виявлення чинників, що впливають на обсяги та структуру споживання електроенергії, є фундаментальним для формування ефективної енергетичної політики і розробки заходів з енергозбереження та підвищення енергоефективності.

Муніципальні системи споживання електроенергії в Україні характеризуються мультисекторальністю, де основними споживачами є:

1. Побутові споживачі – житлові будинки та квартири. Цей сектор займає приблизно 40–50% загального споживання електроенергії у містах. Основними напрямками споживання є освітлення, електроприлади, опалення та кондиціонування, водонагрівання.
2. Комунальний сектор – системи водопостачання, теплопостачання, вуличне освітлення, адмінбудівлі, муніципальний транспорт. Внесок цього сектору становить близько 20–25% загального споживання.
3. Промисловість – великі промислові підприємства, які часто мають значне енергоспоживання, особливо в містах з розвинутою важкою та хімічною промисловістю. Частка промисловості коливається від 20% до 30% залежно від специфіки міста.
4. Сфера послуг і торгівля – офіси, магазини, заклади харчування та інші комерційні об'єкти, що поступово збільшують свою частку у структурі споживання через інтенсивний розвиток міської економіки.

Загальна структура споживання електроенергії у великих українських містах ідентична структурі більшості європейських мегаполісів, однак має свої особливості, пов'язані з кліматичними умовами, рівнем розвитку інфраструктури та енергетичними звичками населення.

Побутовий сектор є найбільшою групою споживачів на муніципальному рівні. Основні чинники, що впливають на обсяги споживання, включають: тип житлового фонду – старі будівлі з поганою теплоізоляцією споживають більше електроенергії для опалення та кондиціонування; рівень оснащення електроприладами – зростання числа електроприладів у домогосподарствах призводить до підвищеного споживання; сезонність – значне збільшення споживання у зимовий період пов'язано з електроопаленням, особливо у районах, де відсутнє централізоване теплопостачання або газифікація.

У середньому, в Україні питоме споживання електроенергії побутовими споживачами становить близько 500–600 кВт·год на місяць на одну сім'ю, проте це значення варіюється в залежності від регіону і

соціально-економічних факторів. Проблемою є те, що старі електропроводки і неекономічні прилади часто збільшують втрати електроенергії.

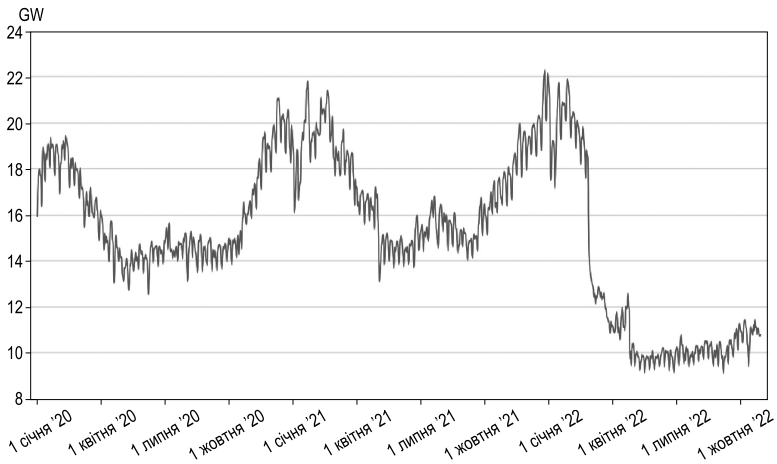
Комунальний сектор вимагає особливої уваги, оскільки відповідає за забезпечення основних інфраструктурних потреб міста. В цьому секторі основними напрямками споживання є: вуличне освітлення – відповідно до статистичних даних, на освітлення припадає близько 10–15% загального комунального споживання електроенергії, що обумовлено застарілими лампами і недостатньою автоматизацією системи; водопостачання і водовідведення – електроприводи насосних станцій, систем очищення води і каналізації споживають значні обсяги електроенергії, які залежно від міста становлять 25–30% комунального сектору; тепlopостачання – електроенергія використовується для роботи насосів у системах централізованого тепlopостачання, електричних котлів та іншого обладнання. Частка електроспоживання в тепловому секторі залежить від типу системи тепlopостачання, частки газових котелень та електроопалення; муніципальний транспорт – електротранспорт, тролейбуси та електробуси зростають у популярності, що впливає на зростання споживання електроенергії у відповідному секторі.

Важливо зазначити, що низький рівень автоматизації і управління у комунальних мережах часто призводить до зайвих втрат електроенергії.

Споживання електроенергії в міських громадах характеризується суттєвими сезонними коливаннями, які обумовлені кліматичними умовами та специфікою використання електроенергії (рисунок) [1]:

- зимовий період: пік споживання через електроопалення, збільшення освітлення внаслідок коротшого світлового дня, посилене використання електроприладів;
- літній період: збільшення споживання через охолоджувальні пристрої (кондиціонери), а також активне використання електроприладів у сфері послуг і торгівлі.

Важливою складовою аналізу є питання втрат електроенергії, які в міських системах можуть становити до 15–20% загального обсягу. Основні причини втрат: технічні втрати у застарілих трансформаторах і мережах; комерційні втрати через несанкціоноване споживання та недосконалий облік; низький рівень впровадження сучасних систем обліку, таких як розумні лічильники, що ускладнює контроль і управління споживанням.



**Рисунок.** Графік споживання електроенергії в Україні в період з 1 січня 2020 року по 27 жовтня 2022 року.

### Висновки

На основі аналізу споживання можна виділити ключові напрямки підвищення енергоефективності:

1. Впровадження систем енергомоніторингу та розумних мереж, що дозволить оперативно реагувати на зміни навантажень і зменшувати втрати.
2. Модернізація освітлення, зокрема заміна ламп розжарювання і люмінесцентних на LED, автоматизація вуличного освітлення.
3. Реконструкція житлового фонду з покращенням теплоізоляції.
4. Переобладнання комунального транспорту на електробуси з більшою енергоефективністю.
5. Підвищення енергоефективності промислових підприємств через впровадження сучасних технологій і обладнання.

### Список використаної літератури

1. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/ukraine-real-time-electricity-data-explorer>

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

## **ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У МУНІЦИПАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ**

Генерація електроенергії на муніципальному рівні в Україні розглядається як стратегічно важливий напрямок для підвищення енергетичної незалежності громад, зниження втрат в мережах, адаптації до змін клімату та посилення стійкості інфраструктури до надзвичайних ситуацій. У контексті децентралізації, а також викликів, пов'язаних з повномасштабною війною, дедалі більше громад ініціюють створення або модернізацію локальних систем електрогенерації, орієнтованих на відновлювані джерела енергії, когенераційні установки, біоенергетику та гібридні рішення.

Децентралізація енергетичної системи передбачає передачу повноважень і ресурсів для управління енергетикою з центрального до місцевого рівня. Це дозволяє громадам ефективніше планувати розвиток інфраструктури, враховуючи локальні потреби, природні ресурси та пріоритети сталого розвитку. У багатьох українських громадах спостерігається перехід від суто споживацької моделі до моделі активного гравця енергетичного ринку – так званого «prosumer», що поєднує виробництво й споживання електроенергії [1].

Централізована генерація, традиційно притаманна великим електростанціям, супроводжується значними втратами під час транспортування, залежністю від центральних диспетчерських систем і вразливістю до зовнішніх загроз. У цьому контексті муніципальні системи, здатні генерувати електроенергію поблизу споживачів, стають критично важливими, особливо у випадках перебоїв або повного припинення централізованого енергопостачання.

На сьогодні у муніципальному секторі відзначаються наступні види генерації.

### 1. Когенерація (ТЕЦ на біомасі, газі, RDF).

Муніципальні теплоелектроцентралі (ТЕЦ), що працюють за принципом когенерації, дозволяють одночасно виробляти електричну та теплову енергію. У контексті громад така генерація часто реалізується на базі модернізованих котелень, які переводяться з природного газу на біомасу або відходи деревини. За даними Держенергоефективності, на початок 2024 року в Україні функціонувало понад 50 таких об'єктів у муніципалітетах [2].

Когенерація має високий коефіцієнт корисного використання палива – до 85%, що значно перевищує ефективність класичних електростанцій. Вона дозволяє зменшити витрати на енергоносії, скоротити викиди парникових газів і підвищити енергетичну автономію об'єктів соціальної інфраструктури.

### 2. Відновлювана енергетика (сонячна, вітрова, гідро).

Малі сонячні електростанції (СЕС) – як дахові, так і наземні – дедалі частіше з'являються в містах і селах. У 2022–2023 роках близько 100 муніципалітетів отримали міжнародну допомогу на встановлення дахових СЕС для шкіл, лікарень і водоканалів [3]. Наприклад, у місті Тростянець (Сумська обл.) встановлено СЕС на медичному центрі, яка покриває понад 70% річного споживання закладу.

Малі гідроелектростанції (МГЕС) залишаються менш поширеними, проте мають потенціал у гірських громадах (Закарпаття, Івано-Франківщина) при дотриманні екологічних обмежень. Вітроенергетика на муніципальному рівні натепер рідко реалізується через високі капітальні витрати й вимоги до вітрового потенціалу, однак є окремі пілотні проекти (наприклад, у Миколаївській області на базі агропідприємства).

### 3. Біоенергетика (біогаз, пелети, відходи).

Генерація електроенергії з біогазу, зокрема на основі муніципальних полігонів ТПВ і стоків, дозволяє вирішити одразу кілька завдань: зменшення викидів метану, енергозабезпечення та утилізація відходів. Один із прикладів – біогазова станція на полігоні в місті Житомир, яка генерує до 1,2 МВт електроенергії [4].

Деякі громади впроваджують схеми спалювання RDF-палива, виготовленого з побутових відходів. Це потенційно дозволяє зменшити обсяг сміття та одночасно виробляти електроенергію та тепло. Проте такі проекти потребують складних дозволів, екоекспертиз і значних інвестицій.

Новітнім трендом у муніципальній енергетиці є впровадження гібридних енергетичних систем, які поєднують кілька джерел генерації

та накопичувачі енергії. Такі рішення дозволяють формувати локальні мікромережі (microgrids), які можуть працювати як у зв'язку з мережею, так і в автономному режимі.

У громаді Східниця (Львівська обл.) реалізовано проєкт, який поєднує дахову СЕС, акумуляторну батарею потужністю 100 кВт·год та дизельний генератор резервного живлення. Система забезпечує безперервну роботу водоканалу навіть у разі повного знеструмлення [5].

Акумуляторні системи відіграють ключову роль у балансуванні енергії, зокрема у випадках, коли частка ВДЕ перевищує 30–40%. Батареї дозволяють накопичувати надлишок енергії вдень і використовувати його в пікові години або вночі. Це також критично важливо в умовах бойових дій, коли стабільність централізованої мережі часто порушується.

Для муніципалітетів критичним є питання фінансової доцільності генерації. Вартість СЕС для громади може складати від 20 до 50 тис. доларів США залежно від потужності. Проте термін окупності таких об'єктів за сучасних тарифів і вартості електроенергії становить 4–7 років, що робить їх економічно привабливими.

Громади дедалі частіше використовують енергосервісні контракти (ЕСКО), грантове фінансування (NEFCO, GIZ, USAID ESP) або програми «зеленої модернізації» у співпраці з приватними інвесторами. У перспективі розвиток муніципальної генерації можливий через створення енергетичних кооперативів, де мешканці спільно фінансують та експлуатують джерела генерації, отримуючи прибуток або компенсацію за участь.

Основними бар'єрами розвитку муніципальної генерації є:

- відсутність технічних кадрів на місцях;
- висока вартість первинних інвестицій;
- складність підключення до мереж операторів систем розподілу;
- обмежений доступ до фінансових інструментів;
- регуляторні прогалини (відсутність чітких процедур для громадських генераторів, накопичувачів тощо).

Тим не менш, подальший розвиток нормативної бази, стандартизація рішень і міжнародна технічна допомога створюють сприятливі умови для масштабування муніципальної генерації.

## **Висновки**

Централізована генерація, традиційно притаманна великим електростанціям, супроводжується значними втратами під час транспортування, залежністю від центральних диспетчерських систем і вразливістю

до зовнішніх загроз. У цьому контексті муніципальні системи, здатні генерувати електроенергію поблизу споживачів, стають критично важливими, особливо у випадках перебоїв або повного припинення централізованого енергопостачання.

Впровадження схеми спалювання RDF-палива, виготовленого з побутових відходів дозволяє зменшити обсяг сміття та одночасно виробляти електроенергію та тепло. Проте такі проекти потребують складних дозволів, екоекспертиз і значних інвестицій.

Акумуляторні системи відіграють ключову роль у балансуванні енергії, зокрема у випадках, коли частка ВДЕ перевищує 30–40%, які дозволяють накопичувати надлишок енергії вдень і використовувати його в пікові години або вночі, що є критично важливо в умовах бойових дій.

У перспективі розвиток муніципальної генерації можливий через створення енергетичних кооперативів, де мешканці спільно фінансують та експлуатують джерела генерації, отримуючи прибуток або компенсацію за участь.

Основними бар'єрами розвитку муніципальної генерації є: відсутність технічних кадрів на місцях; висока вартість первинних інвестицій; складність підключення до мереж операторів систем розподілу; обмежений доступ до фінансових інструментів; регуляторні прогалини (відсутність чітких процедур для громадських генераторів, накопичувачів тощо).

### **Список використаної літератури**

1. Струтинська О. В. Роль муніципальної енергетики у процесі децентралізації // Енергетична політика України. 2022. № 4. С. 23–35.
2. GIZ. Каталог муніципальних когенераційних проєктів. Київ : Німецьке товариство міжнародного співробітництва, 2023. 64 с.
3. USAID Energy Security Project. Звіт про підтримку муніципальних СЕС. Київ, 2023. 74 с.
4. Житомирська міська рада. Енергоефективність і біогаз : офіційний звіт. Житомир, 2022. 33 с.
5. Громада Східниці. Енергетичний паспорт громади. Львів, 2023. 21 с.

**В. А. Фляшовський, І. І. Крилова**

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

## **АНАЛІЗ ЗАКОНОДАВЧОЇ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ УКРАЇНИ З ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ: ОСНОВНІ ПРАВОВІ АСПЕКТИ**

### *Необхідність використання відновлювальних джерел енергії.*

Виходячи з того, що завдяки кліматичним умовам та географічному положенню навіть північні регіони України мають значний потенціал для поширення галузі сонячної енергетики, вона є найбільш перспективним видом ВДЕ в Україні. З наявних даних районування території України реалізація проектів впровадження сонячних електростанцій (СЕС) є найбільш ефективною в Одеській, Херсонській, Харківській, Дніпропетровській, Запорізькій, Донецькій, Чернігівській, Луганській областях та в АР Крим. Для України характерні великі коливання розподілу сонячного випромінювання впродовж року, які характеризуються спадом потенціалу енергії Сонця у зимовий період.

Важливою складовою житлово-комунального господарства в усіх регіонах України є водопровідно-каналізаційне господарство. В Україні витрати на енергію, що поглинається в системах водопостачання, часто можуть досягати половини загального муніципального бюджету та бути другою за величиною статтею бюджетних витрат після витрат на оплату праці.

Доцільно проаналізувати можливість застосування СЕС для підприємств водопостачання та водовідведення, як резервного джерела електроенергії на період тривалих відключень світла, а також для можливості зниження витрат на електроенергію у структурі тарифу.

Проведено аналіз законодавчої та нормативно-правової бази України з впровадження сонячних електростанцій для водоканалів, з якого слідує наступний алгоритм їх впровадження:

1. Наявність земельної ділянки або проведення процедури земле-відведення.
2. Отримання вихідних даних на проєктування.
3. Розроблення проєктної документації та проведення у випадках, передбачених статтею 31 Закону, її експертизи.
4. Оформлення початку проведення будівельних робіт.
5. Виконання підготовчих та будівельних робіт.
6. Прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів.
7. Підключення електростанцій до мереж електропостачання.
8. Робота із залишками електричної енергії.

Такий алгоритм співвідноситься із положеннями ч.5 статті 26 Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», відповідно до якої проєктування та будівництво об'єктів здійснюється саме власниками або користувачами земельних ділянок.

Далі будуть більш детально розкриті наведені вище перші три етапи впровадження сонячних електростанцій.

***Наявність земельної ділянки або проведення процедури земле-відведення.*** Наявність у замовника (проєктних та будівельних робіт) земельної ділянки, як ключового та початкового елемента в механізмі впровадження сонячних електростанцій прямо впливає із законодавчих вимог до наступних стадій.

Як зазначено вище, відповідно до пункту 1) частини 5 статті 26 Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», проєктування та будівництво здійснюється саме власниками та користувачами земельних ділянок. Перед початком проєктування необхідним є отримання вихідних даних.

Згідно із ч. 1 статті 29 Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» основними складовими вихідних даних є: 1) містобудівні умови та обмеження; 2) технічні умови; 3) завдання на проєктування.

Підсумовуючи вказане вище, наявність права власності або користування земельною ділянкою є обов'язковою умовою на стадіях отримання вихідних даних, проєктування, оформлення початку виконання будівельних робіт та прийняття об'єкта в експлуатацію.

Зазвичай, штучних перешкод із виділенням земельних ділянок не виникає. Більшість підприємств водопостачання і водовідведення ще до початку впровадження сонячних електростанцій мають у своєму користуванні земельні ділянки, достатні за розмірами (площею) для розміщення запланованих потужностей.

У випадку недостатності земельних ділянок, органи місцевого самоврядування проявляють співпрацю або наміри співпраці щодо виділення додаткових ділянок для відповідних потреб та не чинять перешкод у цій сфері.

Поряд із вказаним існують перешкоди природного характеру.

Перша полягає в тому, що деякі об'єкти водопостачання та водовідведення розташовуються у міській забудові, що склалася. Тобто, в окремих випадках має місце фізична відсутність вільних земельних ділянок, як можуть бути використані для розміщення сонячних електростанцій в цілому або електростанцій необхідної потужності.

В другому випадку, на частинах наявних земельних ділянок, встановлені охоронні зони водних об'єктів (ст. 60, 61 ЗК України) або зони санітарної охорони (ст. 113 ЗК України), санітарно-захисні зони (ст. 114 ЗК України), що також знижує потенціал земельних ділянок.

Потенційно можна виділити наступні можливі ризики та перешкоди для впровадження сонячних електростанцій:

1. Фактична відсутність земельних ділянок, які можуть бути використані для розміщення сонячних електростанцій.

2. Відсутність земельних ділянок, сформованих відповідно до статті 791 Земельного кодексу України, які повністю відповідають вимогам, необхідним для розміщення сонячних електростанцій. У такому разі необхідним є проходження процедури розробки проекту землеустрою щодо відведення земельної ділянки або розробки технічної документації.

В залежності від особливостей земельної ділянки (межування із землями охорони культурної спадщини, охорони природного середовища, наявності охоронних смуг, інших обмежень у використанні) можуть бути необхідними додаткові погодження, що передбачені у статті 186 Земельного кодексу України.

3. Політизованість прийняття рішень про відведення земельних ділянок органами місцевого самоврядування, оскільки такі органи представлені політичними силами, які потенційно можуть не досягти певного компромісу в земельних питаннях.

**Отримання вихідних даних на проєктування.** Як було зазначено вище, згідно із ч. 1 статті 29 Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» основними складовими вихідних даних є: 1) містобудівні умови та обмеження; 2) технічні умови; 3) завдання на проєктування.

**Питання ОВД для проєктів СЕС.** Згідно пункту 4.2 ДБН А.2.2-1:2021 «Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на нав-

колишнє середовище (ОВНС)» матеріали оцінки впливу на навколишнє середовище є обов'язковою складовою проектної документації та повинні містити результати оцінки впливів на навколишнє природне, соціальне, включаючи життєдіяльність населення, і техногенне середовище та обґрунтувати допустимість планованої діяльності.

Згідно пункту 5.2 ДБН А.2.2-3-2014 при підготовці ТЕО (ТЕР) повинна здійснюватись всебічна оцінка впливів планованої діяльності згідно з ДБН А.2.2-1:2021 з урахуванням результатів оцінки впливу на довкілля відповідно до ЗУ «Про оцінку впливу на довкілля» (за наявності); рекомендовані рішення ТЕО (ТЕР) потрібно обґрунтувати за результатами ОВНС та оцінки впливу на довкілля (за наявності); матеріали ОВНС, оформлені у вигляді спеціальної частини (розділу) документації, є обов'язковою складовою ТЕО (ТЕР). Також ОВНС можна розробляти на інших етапах проектування.

Враховуючи наведене вище, для будівництва промислових сонячних електростанцій НЕОБХІДНО РОЗРОБЛЯТИ РОЗДІЛ (ТОМ) ОВНС У СКЛАДІ ПРОЄКТНО-КОШТОРИСНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ.

Будівництво та експлуатація сонячних електростанцій не визначені частинами другою і третьою статті 3 Закону, відповідно НЕ ПІДЛЯГАЮТЬ ПРОХОДЖЕННЮ ПРОЦЕДУРИ З ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ.

Підводячи підсумки проведеного дослідження відносно розвитку альтернативної енергетики у світі, можна констатувати наступне, враховуючи усі недоліки традиційних джерел енергії електричної (вичерпаність, забруднення довкілля, постійне зростання цін на енергетичні ресурси і тому подібне), оптимальним варіантом бачиться поступовий перехід людства на альтернативні джерела, які поки що є досить дорогими, але що більше важливо є поновлюваними. Поновлювані джерела енергії вже успішно починають замінювати в деяких країнах (Норвегія, Ірландія, Хорватія тощо) джерела традиційні практично повністю.

**Ж. О. Петрова, В. М. Пазюк, Ю. П. Новікова, А. В. Бадеха**

*Інститут технічної теплофізики  
Національної академії наук України, м. Київ*

## **КІНЕТИКА ПРОЦЕСУ СУШІННЯ КОМПОЗИТНОЇ СУМІШІ НА ОСНОВІ ФІЛЬТРАТУ СТІЧНИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ, ТОРФУ ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ СИРОВИНИ**

**Вступ.** Щорічно в Україні утворюється понад 10 мільйонів тонн твердих побутових відходів та до 500 мільйонів тонн усіх видів відходів [1]. Полігони твердих побутових відходів (ТПВ) розташованих поблизу населених пунктів негативно впливають на екологію навколишнього середовища. В наслідок біохімічних процесів в товщині пластів звалищ утворюється фільтрат, який дренажною системою направляється в накопичувачі. Стічні води полігонів ТПВ – це висококонцентровані розчини органічних і мінеральних речовин.

Очищення стічних вод (фільтратів) звалищ твердих побутових відходів належить до найгостріших проблем загальнодержавного значення. Фільтрати відносяться до надто забруднених, екологічно небезпечних стічних вод, оскільки характеризуються високим вмістом солей (до 25 000 мг/дм<sup>3</sup>) і органічних речовин (хімічне поглинання кисню (ХПК) – 13 000–16 000 мг О/дм<sup>3</sup>). На сьогодні в Україні фільтрати, як правило, не очищають, і вони потрапляють у поверхневі та підземні води без будь-якої обробки, чим завдається величезна шкода навколишньому середовищу.

Для розділення висококонцентрованих стічних вод полігонів ТПВ використовують баромембранні методи. В [2, 3] підтверджена висока ефективність демінералізації стічних вод зворотнім осмосом.

Так, очищення води зворотнім осмосом потребує на 25–30% менше енергозатрат, ніж іншими методами. Окрім того, зворотній осмос забезпечує високий ступінь очищення води від більшості типів забруднень. Разом з тим, ефективність та економічність зворотного осмосу багато в чому визначається адекватною попередньою підготовкою

фільтрату, що запобігає забрудненню мембран. У багатьох випадках з метою економії при очищенні фільтратів цього не дотримуються.

У зв'язку з цим метою даної роботи є розробка технології комплексної переробки фільтратів на основі мембранних методів для одержання чистої води, що відповідає нормам стандарту на скидання у відкриті водойми, і цінних речовин, які придатні для промислового використання.

Стічні води – це води, що втратили свої природні властивості через використання в промислових, сільськогосподарських або побутових процесах, а також внаслідок контактів із забруднюючими речовинами. Вони можуть містити різноманітні забруднювальні речовини, такі як органічні сполуки, важкі метали, мінеральні частинки, а також патогенні мікроорганізми. Основна характеристика стічних вод – їх потенційна небезпека для екосистем та здоров'я людини, що зумовлює необхідність їх обробки перед скиданням у водні об'єкти.

Осади стічних вод (ОСВ) являють велику загрозу для навколишнього середовища і людини, оскільки вони містять шкідливі речовини, які у десятки і сотні разів більш токсичні, ніж стічні води. Утилізація осадів стічних вод повинна відбуватись із дотриманням екологічних вимог.

Проблема утилізації ОСВ повинна вирішуватись комплексно з питаннями очищення стічних вод, без чого водоохоронні заходи не можуть бути ефективними. При цьому оптимальне використання корисних речовин, що містяться в осадах, їх обробка, приведуть до повернення сировинних та інших корисних матеріалів.

Осади стічних вод являють собою домішки у твердій фазі, виділені з води в результаті фізико-хімічного, електрохімічного і біологічного очищення або комбінації цих методів очищення стоків.

Для отримання сухих осадів стічних вод необхідно провести 9 етапів його обробки – це великі енергетичні витрати на процес очищення стічних вод. На 9 етапі відбувається термічна або теплова обробка в різних типах сушильних установок з отриманням сухих осадів, які потрібно використовувати у народному господарстві. Серед всіх запропонованих способів найбільш доцільним є отримання електроенергії та тепла з осаду стічних вод.

Нами запропоновано для вирішення теплоенергетичних завдань створити новий вид палива на основі стічних вод твердих побутових відходів з підвищеною теплотворної здатності. Також це вирішує питання ефективного використання осадів стічних вод.

## Матеріали та методи досліджень

Для дослідження використовували відфільтровані осади стічних вод в поєднанні з торфом та поживними рештками кукурудзи.

Суміші створювалися у наступних пропорціях:

- додавання фільтрату до композиції торфу та подрібненого стовбура кукурудзи в пропорції 1 до 1;
- додавання фільтрату до композиції торфу та подрібненого стовбура кукурудзи в пропорції 2 до 1.

Для дослідження кінетики процесу сушіння матеріалів застосовували експериментальний конвективний стенд із встановленою автоматичною системою збору та обробки інформації. Конвективний сушильний стенд дозволяє проводити термічну обробку матеріалу при температурі сушильного агента 50–150 °С та швидкості руху 0,5–5,0 м/с [4].

## Результати досліджень

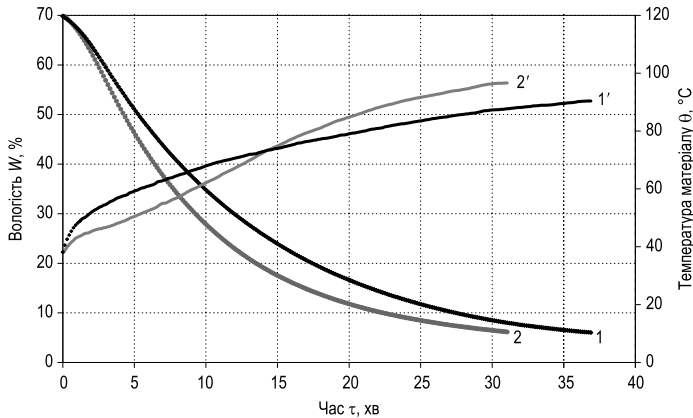
Параметром для підвищення інтенсивності сушіння є склад суміші, який впливає на кінетику процесу сушіння. При зміні складу суміші із трьох параметрів суміші, змінювався лише вміст торфу, таким чином крім запропонованої суміші Ф+ТК у пропорції 1:1, створена суміш Ф+ТК у пропорції 2:1 з однією початковою вологістю, що дає змогу порівняти їх.

Із проведених досліджень кінетики сушіння отриманих сумішей Ф+ТК у різних пропорціях, найкраще сушиться суміш у пропорції 1:1, спостерігається збільшення інтенсивності сушіння на 19% (рис. 1).

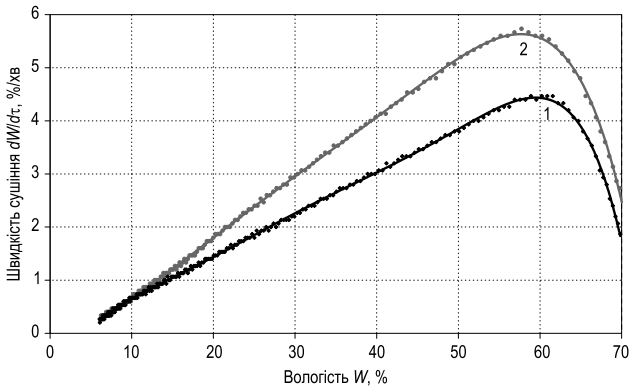
Зміна пропорції в суміші Ф+ТК впливає на характер прогрівання матеріалу та його тривалості, а також його інтенсивності. Кінцева температура матеріалу більша в суміші з пропорцією 1:1 і складає 96,6 °С, в суміші з пропорцією 2:1 вона менша і складає 90,4 °С.

Швидкість сушіння від зміни пропорції при температурі теплоносія 100°С вища у пропорції 1:1. Максимальна швидкість сушіння при порівнянні пропорції 1:1 та 2:1 підвищується на 30% і з огляду інтенсивності сушіння найбільш доцільно вибрати суміш Ф+ТК у пропорції 1:1 (рис. 2).

Хоча швидкість сушіння у різних пропорціях різна, для повної картини підвищення інтенсивності сушіння при температурі теплоносія 100 °С від швидкості руху теплоносія та при комбінованому способі сушіння проводимо паралельне порівняння інтенсивності в цих сумішах.



**Рис. 1.** Вплив складу суміші на кінетику сушіння та температура матеріалу при  $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 3\text{ м/с}$ ,  $\delta = 10\text{ мм}$ ,  $d = 12\text{ г/кг с. п.}$ :  
 1, 1' – пропорція 2:1; 2, 2' – пропорція 1:1.



**Рис. 2.** Вплив складу суміші на швидкість сушіння при  $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V = 3\text{ м/с}$ ,  $\delta = 10\text{ мм}$ ,  $d = 12\text{ г/кг с. п.}$ :  
 1 – пропорція 2:1; 2 – пропорція 1:1.

### Висновки

Дослідження впливу співвідношення компонентів показує, що найменша тривалість сушіння у пропорції 1:1. Це співвідношення оптимальне, має кращі якісні характеристики і вибрано для подальших досліджень.

## Список використаної літератури

1. За рік в Україні утворюється понад 10 мільйонів тонн сміття. Укрінформ. [https : //www.ukrinform.ua/rubric-economy/3776047-za-rik-v-ukraini-utvoruetsa-ponad-10-miljoniv-tonn-smitta-mindovkilla.html](https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3776047-za-rik-v-ukraini-utvoruetsa-ponad-10-miljoniv-tonn-smitta-mindovkilla.html)
2. Пилипенко А. Т., Гороновский И. Т., Гребенюк В. Д. и др. Комплексная переработка шахтных вод. Киев : Техника, 1985. 183 с
3. Prospects of Pall-Rohem, Gamburg (Germany). 2002.
4. Petrova Z. A., Slobodyanyuk E. S. Energy-Efficient Modes of Drying of Colloidal Capillary-Porous Materials // J. Eng. Phys. Thermophy. 2019. 92. 1231–1238. [https : //doi.org/10.1007/s10891-019-02038-x](https://doi.org/10.1007/s10891-019-02038-x)

УДК 66.045

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

## **ВИКОРИСТАННЯ СКРУБЕРІВ ПЛІВКОВОГО ТИПУ У ВИРОБНИЦТВІ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ**

Плівкові скрубери, які застосовуються для очищення технологічних газів від пилу, кислотних парів і аерозолів, поглинання шкідливих газових домішок (амоніаку, оксидів азоту, фтористих і сірчистих сполук) та охолодження гарячих газів перед їх викиданням, є основним елементом системи газоочищення у виробництві аміачної селітри, суперфосфату, карбаміду у виробництві мінеральних добрив.

Такі скрубери працюють на основі безпосереднього контакту газового потоку з тонкою плівкою рідини, що стікає по насадці, зокрема – регулярній насадці. Газ, що надходить у нижню частину скрубера, контактує з плівкою рідини, яка подається зверху. У зоні контакту газу та плівки рідини відбувається механічне очищення та охолодження потоку газу внаслідок випаровування рідини. Плівка рідини стікає вниз на рециркуляцію, а очищений і охолоджений газ через краплевловлювач йде в димову трубу.

Отже, інтенсивність тепло- і масообміну визначає охолодження потоку газу в апаратах, що забезпечує підвищення технологічного рівня

виробництва, а дослідження процесів у скруберах є важливим та актуальним.

Виходячи з цього, метою даної роботи є дослідження можливостей підвищення ефективності процесів тепло- та масообміну в скруберах на основі комп'ютерного моделювання даних процесів в області контакту газу з плівкою рідини та охолодження газу за рахунок ізоентальпійного випаровування плівки. Моделювання проведено в вертикальному каналі контактного апарату за протитокового руху теплоносіїв і гравітаційного збігання плівки.

Відомі числові моделі руху та випаровування плівки при прямому контакті з газом представлені в роботах [1–9]. Однак, кожна з них обмежена певними умовами. Застосовувана в даній роботі комп'ютерна модель ізоентальпійного випаровування плівки води в вертикальному каналі контактного апарату сформульована для широкого кола можливих фізичних ситуацій. Проведено верифікацію моделі з врахуванням прихованого тепла випаровування; встановлено вплив температури плівки та висоти каналу на профіль температур; отримано критеріальне рівняння для обрахунку теплообміну.

За результатами комп'ютерного моделювання в пакеті COMSOL Multiphysics показано, що при висоті каналу  $H = 0,5$  м та числі Рейнольдса  $Re = 2400$  температура повітря зменшується від 350 К на вході до близько 342 К на виході, тоді як температура плівки води залишається майже сталою  $T_{пл} = 310$  К, що свідчить про ізоентальпійний характер процесу та відведення тепла випаровування.

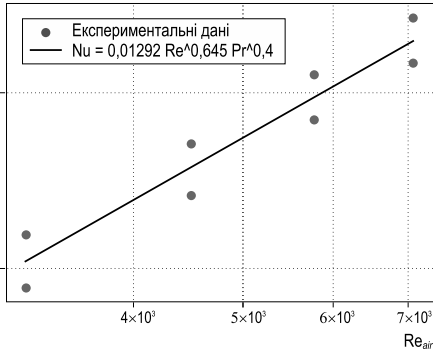
Встановлено, що зі зниженням початкової температури плівки води з 330 К до 310 К температура повітря в каналі також зменшується. При  $T_{пл} = 310$  К і  $Re = 3900$  температура повітря в скрубери зменшується в середньому на 8–10 К порівняно з умовами, що відповідають  $T_{пл} = 330$  К.

При збільшенні висоти каналу скрубера від 20 до 490 мм температура повітря знижується на 7–8 К, що пояснюється розвитком теплового пограничного шару й поступовим зменшенням різниці температур між фазами.

На рисунку зображено залежність числа Нуссельта  $Nu$  від числа Рейнольдса повітря  $Re_{air}$ . Результати моделювання позначено точками, вищі значення відповідають  $H = 300$  мм, нижчі –  $H = 500$  мм. Отримана пряма з відхиленням до 6% описується критеріальним рівнянням

$$Nu = 1,29 \times 10^{-2} * Re_{air}^{0,645} * Pr_{air}^{0,4} .$$

$Nu/Pr^{0,4}$



**Рисунок.** Залежність  $Nu = f(Re)$  в каналі, залежно від швидкості потоку повітря в діапазоні  $Re = 3200 \dots 7100$  за ізотальпійного випаровування. Температура потоку повітря 320 К, відносна вологість  $\chi = 19$ , температура плівки 300 К, висота каналу  $H = 300 \dots 500$  мм, швидкість повітря  $V_{пов} = 5 \dots 11$  м/с.

Отже, одержані дані свідчать про можливість суттєвої інтенсифікації досліджуваних процесів шляхом підвищення швидкості руху газової фази.

### Список використаної літератури

1. Xia Y., Ali A. B. H., Khaware A. & Cao J. (2024, April). Numerical Simulation of Liquid Film Evaporation and Condensation for Water Reactors. World Congress on Momentum, Heat and Mass Transfer. The 9<sup>th</sup> World Congress on Momentum, Heat and Mass Transfer. <https://doi.org/10.11159/icmfht24.148>
2. Gerendas M. & Wittig S. Experimental and Numerical Investigation on the Evaporation of Shear-Driven Multicomponent Liquid Wall Films // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 2001. 123(3). P. 580–588. <https://doi.org/10.1115/1.1362663>
3. Rossomme S. & Colinet P. (2008). Modélisation de l'évaporation des films liquides minces, y compris au voisinage des lignes de contact: application aux caloducs à rainures.
4. Ambrosini W., Forgione N., Mazzini D. & Oriolo F. Computational Study of Evaporative Film Cooling in a Vertical Rectangular Channel // Heat Transfer Engineering. 2002. 23(5). P. 25–35. <https://doi.org/10.1080/01457630290098619>
5. Maurya R. S., Diwakar S. V., Sundararajan T. & Das S. K. Numerical Investigation of Evaporation in the Developing Region of Laminar Falling Film Flow Under Constant Wall Heat Flux Conditions // Numerical Heat Transfer, Part A: Applications. 2010. 58(1). P. 41–64. <https://doi.org/10.1080/10407782.2010.490174>
6. Guignard S., Shawky O. A., Tachon L., Abd-ElSalam K. M. & Sabry M. N. Two-dimensional front-tracking model for film evaporation // 3<sup>rd</sup> International Conference on Thermal Issues in Emerging Technologies Theory and Applications. 2010. 195–199. <https://doi.org/10.1109/theta.2010.5766398>
7. Saha S., Khan J. & Farouk T. Numerical study of evaporation assisted hybrid cooling for thermal powerplant application // Applied Thermal Engineering. 2020. 166. 114677. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114677>

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

9. Ibrahim K., Rabbo M. F. A., Gambaryan-Roisman T. & Stephan P. Experimental and numerical investigation of evaporative heat transfer in the vicinity of the 3-phase contact line // 3<sup>rd</sup> International Conference on Thermal Issues in Emerging Technologies Theory and Applications. 2010. 207–215. <https://doi.org/10.1109/theta.2010.5766400>

УДК 620.9

**Ю. І. Дзюбан, В. В. Горський, О. Є. Маляренко**

*Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ*

## **ІНТЕГРАЦІЯ ВДЕ В СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМ**

Проблема підвищення ефективності енергозабезпечення на основі автономності та надійності енергопостачання тваринницьких комплексів від гібридної системи, що поєднує теплонасосні установки типу «повітря–вода» та фотовольтаїчні системи (ФЕС) для забезпечення власної генерації електроенергії є вкрай важливою в умовах воєнних дій. Сучасний розвиток агропромислового комплексу критично залежить від підвищення енергетичної автономності тваринницьких комплексів. Висока вартість енергоносіїв, залежність від імпортованих викопних видів палива та необхідність зниження негативного впливу на довкілля вимагають розробки нових, комплексних підходів до енергозабезпечення, що базуються на відновлюваних джерелах енергії (ВДЕ). Розвиток фермерського господарства та природна конкуренція як в середині країни, так і за її межами спонукають власників впроваджувати передові технології (зокрема, біогазові установки, біопаливні котли, сонячні панелі, теплонасосні установки різного типу), що забезпечують економію викопного палива і знижують забрудненість довкілля [1].

Важливим напрямом досягнення вуглецевонеutralної енергетики є теплонасосні технології. В Україні дослідженнями застосування теплонасосних технологій (ТН) у промисловості та комунальній енергетиці займаються такі провідні наукові установи, як Інститут технічної

теплофізики НАН України, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Інститут газу НАН України, Інститут загальної енергетики НАН України [2–5]. У цих роботах відмічено, що ТН технології активно розвиваються у Європі (країнах північної Європи: Німеччині, Австрії, Польщі), Китаї та Північній Америці завдяки привабливій інвестиційній політиці та впровадженню відповідних організаційно-правових заходів [6]. В умовах сільськогосподарських комплексів, що мають значні площі покрівель та вільних територій, ФЕС є найбільш доцільним та економічно обґрунтованим рішенням [7]. Інтеграція ТНУ та ФЕС створює гібридну енергетичну систему, яка дозволяє майже повністю нівелювати закупівлю електроенергії з мережі, що є потужним інструментом для зниження собівартості продукції та підвищення конкурентоспроможності. Дослідження демонструють, що такі гібридні системи мають коротший термін окупності, ніж при роздільному впровадженні, особливо в умовах зростання тарифів на енергоносії [8].

Огляд ефективних теплонасосних технологій, зокрема для створення мікроклімату в приміщеннях сільськогосподарських підприємств, заміщення традиційного холодоагенту на альтернативні (пропан), що мають менший вплив на навколишнє середовище, поєднання ТНУ з фотоелектричними сонячними панелями виконано в [1]. В цій же публікації детально описано експериментальне дослідження щодо впровадження ТНУ на пропані для потреб гарячого водопостачання у тваринницькому комплексі с. Федунка, Полтавської області. Термін окупності цього заходу за різних сценаріїв впровадження заходу та тарифів на електроенергію досліджено у [9].

Ключовим фактором у забезпеченні повної енергетичної автономності тваринницького комплексу та мінімізації поточних операційних витрат є повне заміщення купівлі електроенергії з мережі за високим тарифом фотовольтаїчною системою. Гібридна енергетична система, що поєднує енергоефективну технологію теплового насоса з власною генерацією від ФЕС, дозволяє не лише забезпечити власне споживання електрики, але й суттєво знизити кінцеву собівартість гарячої води для технологічних потреб тваринництва, сприяє досягненню не лише енергоефективності, але й вуглецевої нейтральності виробництва, що відповідає сучасним світовим тенденціям у сільському господарстві.

Для забезпечення живлення теплонасосної установки, чие річне споживання складає 17 592 кВт·год/рік, було розраховано технічні параметри гібридної ФЕС зі сховищем енергії. Встановлена потужність ФЕС складає 15 кВт. Повна вартість реалізації проекту ФЕС (CAPEX)

складає 17 069,18 дол. США, включаючи монтажні та пуско-налагоджувальні роботи. Собівартість електроенергії, виробленої цією ФЕС, оцінюється на рівні 1,57 грн/кВт·год.

За результатами проведеного експериментального та техніко-економічного дослідження, обґрунтовано ефективність впровадження **гібридної енергетичної системи** на тваринницькому комплексі та визначено, що впровадження ТНУ забезпечило зниження споживання електроенергії для гарячого водопостачання майже у 5 разів порівняно з електричним бойлером, що формує річний потенціал економії у  $\Delta W = 52\,853$  кВт·год/рік. Річний економічний ефект від заміщення бойлера становить понад 380 тис. грн, що в базовому розрахунку забезпечує термін окупності менше двох років (1,71 року).

Інтеграція ТНУ з ФЕС потужністю 15 кВт дозволила покрити річне споживання теплового насоса майже на 96%, розрахунковий термін окупності 2,86 років.

### Список використаної літератури

1. Дзюбан Ю. І., Маляренко О. Є., Горський В. В., Євтухова Т. О. Підвищення ефективності теплзабезпечення тваринницьких комплексів із залученням теплонасосних установок // Теплофізика та теплоенергетика. 2025. Т. 47, № 2. С. 80–88. <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2025.8>
2. Sniezhkin Yu. F. Enerhoefektyvni teplotekhnologii ta obladnannia dlia vyrobnytstva teploty z vidnovliuvanykh dzherel enerhii [Energy-efficient thermal technologies and equipment for heat production from renewable energy sources] // Теплофізика та теплоенергетика – Thermophysics and Thermal Power Engineering. 2022. 44. 7–12. <https://doi.org/10.31472/tpe.4.2022.1> (in Ukrainian).
3. Bezrodny M. K., Prytula N. O., Teslenko O. I., Matushevych Kh. B. Methodological approaches to determining the general parameters of solar collectors and ground heat accumulator for a heat pump heating system // Energy Technologies & Resource Saving. 2024. 81(4). 68–78. <https://doi.org/10.33070/etars.4.2024.05> (in English).
4. Nikitin, Ye. Ye. Conceptual positions of modernization of existing inefficient district heating systems // Energy Technologies & Resource Saving. 2017. (2). 11–21. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2017.02> (in English).
5. Derii V. O., Teslenko O. I., Sokolovska I. S. Metodychnyi pidkhid do otsinky potentsialu vyrobnytstva teplovoi enerhii teplonasosnymy ustanovkamy u razi yikh vprovadzhennia v rehionalnykh systemakh teplopstachannia [Methodological approach to assessing the potential for heat production by heat pumps in case of their implementation in regional heating systems] // Enerhotekhnologii ta resursozbezchennia – Energy Technologies & Resource Saving. 2023. 75(2). 44–56. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2023.03> (in Ukrainian).
6. IEA (n.d.). Heat Pumps. IEA, Paris. Retrieved April 18, 2025, from <https://www.iea.org/energy-system/buildings/heat-pumps> (in English).

7. Velasco-Gómez, P., García-Pérez, P., Gil-Montalbán, J. C., & Velasco-Gómez, E. (2024). Optimal Sizing of Hybrid Energy Systems in Agricultural Farms: A Case Study of a Dairy Farm. *Renewable Energy*, 215, 119056. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119056> (in English).

8. LLC “Atmosfera” (2025). Commercial Proposal for a Hybrid Photovoltaic Station to Replace Own Electricity Consumption of LLC “Sahara”. (Provided by the customer).

9. Євтухова Т. О., Маляренко О. Є., Дзюбан Ю. І. Економічна ефективність впровадження електричних теплогенераторів у тваринницьких комплексах // Збірник тез доповідей за матеріалами III міжн. наук.-практ. конф. «Цифрові технології в енергетиці і автоматичі». м. Київ, 6 червня 2025 р. С. 13–14. <https://drive.google.com/file/d/1mwRTbOw38WVHg2-GzVwIU7WVdzlDbklj/view>

УДК 628.4

**О. С. Панченко**

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

## **ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТА ШЛЯХИ ЇЇ ЗНИЖЕННЯ**

**Енергоємність процесу очищення стічних вод.** Основним завданням централізованого водовідведення є надання якісної комунальної послуги, зокрема за рахунок повернення до природного середовища зібраних та очищених стічних вод, які утворилися в процесі життєдіяльності населення та функціонування підприємств. Очищення стічних вод є одним із найбільш енергоємних процесів у промисловості (близько 1% загального енергоспоживання країни в Європі та 4% у США), при цьому потреба в енергії значно зростає через запровадження більш жорстких стандартів щодо якості водних стоків, які вимагають передових технологій видалення забруднюючих речовин [1–3].

За результатами проведеного авторами [3] аналізу щодо стану очищення міських стічних вод в європейських країнах, більшість очисних споруд систем водовідведення були спроектовані та побудовані без урахування попиту на енергію, оскільки витрати на енергію не були на той час головною проблемою.

Заходи з енергоефективності та енергозбереження в основному не впроваджені в управлінні очищенням стічних вод, але останнім часом, у зв'язку зі збільшенням уваги до скорочення споживання викопного палива, споживання енергії очисними спорудами, а також можливі шляхи використання альтернативних джерел енергії, активно досліджуються.

Крім того, за результатами проведених енергоаудитів підприємств, було продемонстровано, що використання енергії є основним джерелом викидів вуглецю в очисних спорудах [3].

Споживання енергії ОСВВ автори [4] загалом класифікують на пряме споживання енергії (електроенергія, необхідна для роботи повітродувки для аеротенків, підйомних насосів (занурювальних), зворотних насосів) та непряме (енергоспоживання включає хімічні речовини, які використовуються для хімічного видалення фосфору та зневоднення осаду).

Очисні споруди залежать від електропостачання, тому будь-яке тривале відключення може призвести до погіршення якості скиду стічних вод і недотримання лімітів скидів [2]. На деяких очисних спорудах у разі відключення електроенергії через 6–8 год стічні води можуть аварійно скидатися безпосередньо в реципієнт (зазвичай річку). Цей скид відбудеться одразу, якщо в цей період випадуть сильні опади. Точні дані про можливу кількість неочищеної води, яка скидається під час відключення електроенергії, відсутні. Вони залежать від потужності та звичайної кількості очищених стічних вод кожної окремої станції очищення стічних вод.

Тривалі відключення електроенергії можуть призвести до значного забруднення річки, а також технологічних труднощів у станції очищення стічних вод, що може знизити ефективність очищення навіть після закінчення блекауту. Причиною цього є осідання та розпад активного мулу в активаційній ємності, що відбувається приблизно через 12–16 год. Без подачі нових стічних вод, які не проходять через обладнання очисної споруди в результаті відключення, активний мул з часом загине. Коли функціонування системи розподілу електроенергії відновлюється, подальша регенерація мертвого мулу займе приблизно 3 тижні для досягнення здатності видаляти забруднення.

На мережі водовідведення є багато насосних станцій і у разі відключення електроенергії неочищені стічні води будуть текти безпосередньо з цих станцій у реципієнт. Це відбуватиметься після вичерпання акумулюючої ємності насосних відстійників та гравітаційної

частини каналізаційної мережі приблизно через 4–6 годин. Якщо каналізаційні насосні станції не мають аварійного обходу водозбірника, то за ці 4–6 год буде затоплено околиці. Обсяг також залежатиме від інтенсивності можливих опадів. Повінь призведе до значних матеріальних збитків у цьому районі. У невеликих системах каналізації можна забезпечити відведення накопичених стічних вод від насосних станцій за допомогою спеціального транспортного обладнання до діючих очисних споруд. Однак вони мають лише обмежену здатність.

**Можливості вирішення проблем енергоснності за допомогою СЕС.** На зношених очисних спорудах першим заходом рекомендується їх модернізація, оскільки встановлювати СЕС на неоптимально працюючому обладнанні економічно недоцільно.

Щодо насосних станцій систем централізованого водовідведення, то доцільно їх встановлювати за наявності земельних ділянок поряд з КНС, а при щільній міській забудові нераціонально.

Крім відведення та очищення стічних вод, слід також звертати увагу на системи обробки осадів стічних вод. Для кожної ОСВ на електроенергію припадає 25–40% загальних експлуатаційних витрат, з яких 50–60% пов'язано з обробкою осадів, тобто більше половини споживання електроенергії.

Переважна більшість європейських країн спрямовує зусилля на обробку осадів таким чином щоб не тільки не зашкодити навколишньому середовищу, а й сприяти повторному використанню осадів стічних вод. Такий підхід зумовлений необхідністю дотримуватися положень статті 14 Директиви Ради 91/271/ЄЕС від 21 травня 1991 року «Про очистку міських стічних вод».

Дослідники з Чеської Республіки [2] розглядали альтернативні джерела електроенергії як рішення для знеструмлення очисних споруд, що є актуальним для умов України в умовах перебоїв з енергопостачанням внаслідок атак на критичну інфраструктуру.

Для захисту очисних споруд у разі тривалого відключення електроенергії необхідно передбачити не лише забезпечення електропостачання очисної станції, але й відповідне забезпечення з альтернативних джерел та забезпечення надійності їх постачання.

При застосуванні резервних джерел живлення, першим пріоритетом є з'ясування, як технології можуть працювати в аварійному режимі та які процеси мають бути включені завжди, навіть у критичній ситуації, а також які пристрої можна вимкнути. Тоді можна розраху-

вати необхідну електроенергію, яку необхідно забезпечити з альтернативних джерел.

Більшість очисних споруд мають потенціал для переходу на острівну роботу під час відключення світла. Менші можуть жититися від дизель-генераторів. Використання відновлюваних джерел видається вигідним, особливо з можливістю використання біогазу, особливо для великих очисних споруд, які виробляють біогаз у процесі бродіння.

Однак більшість з них не можуть працювати в острівному режимі тривалий час (більше двох діб), тому що споживання турбокомпресорів не буде покрито, а вироблення біогазу зменшиться. Це може вирішити дизель-генератор, який би постачав електроенергію до турбокомпресорів, або шляхом встановлення достатньої кількості сонячних панелей із накопичувачем акумулятора для тієї ж мети.

Застосування СЕС також допоможе знизити викиди парникових газів від очисних споруд. Для прикладу у Долинській територіальній громаді водоканал за два місяці уникнув потрапляння в атмосферу 3,17 тонни вуглекислого газу завдяки сонячній електростанції. СЕС потужністю 140 кВт встановили на очисних спорудах комунального підприємства [5].

### **Список використаної літератури**

1. Лессік М. Проведення аналітичних досліджень та розроблення науково-обґрунтованих рекомендацій щодо порядку первинного обліку обсягів утворення, обробки, зберігання та повторного використання осадів стічних вод // Звіт про науково-технічну розробку. 2023. С. 39–43.

2. Vrzala M., Goño M., Goño R., Kotulla M., Wzorek M. & Leonowicz Z. Distributed Generation Power Systems in Wastewater Management // *Energies*. 2022. 15(17). 6283. <https://doi.org/10.3390/en15176283>

3. Di Fraia S., Massarotti N. & Vanoli L. A novel energy assessment of urban wastewater treatment plants // *Energy Conversion and Management*. 2018. 163. 304–313. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.02.058>

4. Guo Z., Sun Y., Pan S.-Y. & Chiang P.-C. Integration of Green Energy and Advanced Energy-Efficient Technologies for Municipal Wastewater Treatment Plants // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. 16(7). 1282. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071282>

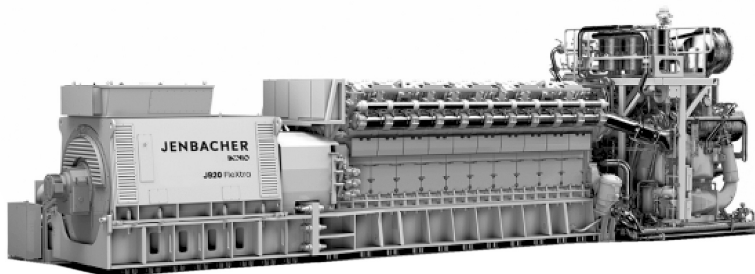
5. На Франківщині водоканал скоротив викиди вуглецю на 3 тонни за два місяці. (б. д.). ЕкоПолітика. <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/na-frankivshhini-vodokanal-skorotiv-vikidi-vugleclu-na-3-tonni-za-dva-misyaci/>

## 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

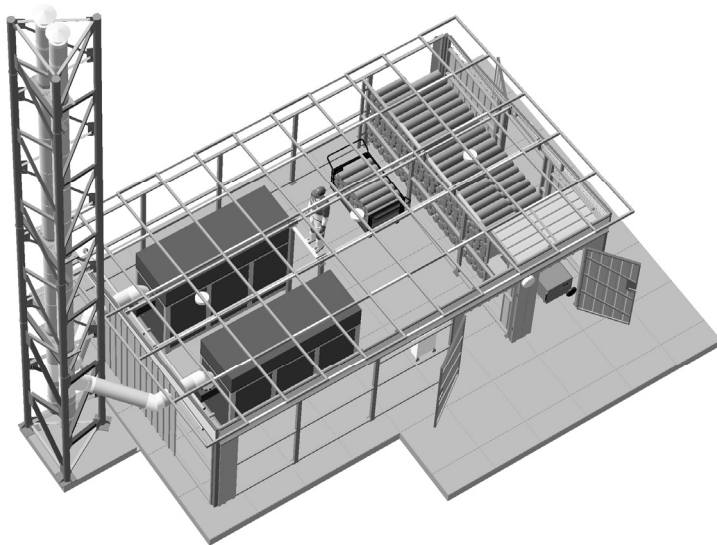


к о р п о р а ц і я  
**УКРАТОМПРИЛАД**



ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ РАДІАЦІЙНОГО, ДОЗИМЕТРИЧНОГО, ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ, ЕКОЛОГІЧНОГО ТА РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНИТОРИНГУ, 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.

Різке 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 тепलोмережі 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 розчистці 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.

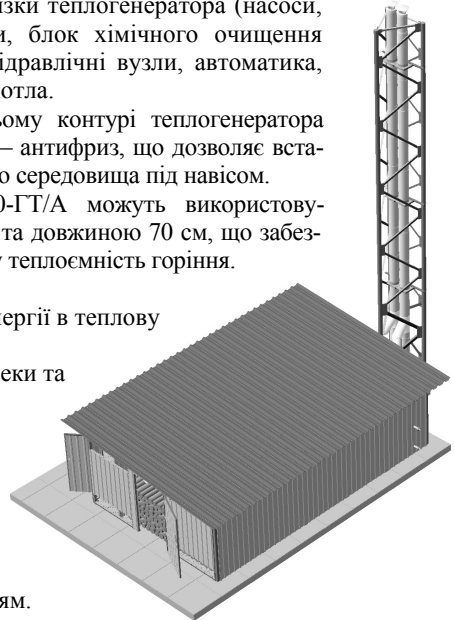
Теплогенератори модульні ТМ-100-Т-00-ГТ/А характеризуються максимально компактними розмірами (як для своєї потужності) – Ш×Д×В – 990×3200×1750 мм, з урахуванням наявності повної обов'язки теплогенератора (насоси, теплообмінники, розширювальні баки, блок хімічного очищення води (ХВО), бак запасу теплоносія, 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»:**

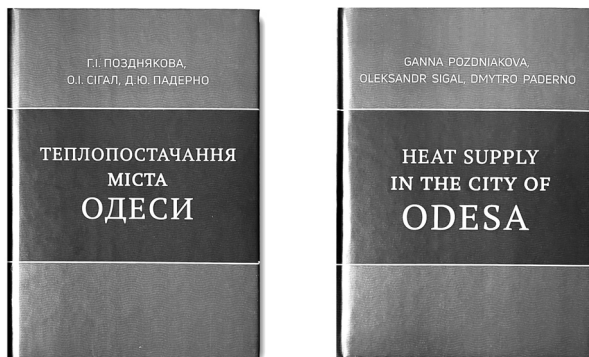
Україна, 03150, м. Київ, вул. Антоновича, 152, оф. 101  
Тел./факс: (+38 044) 501-61-78, 528-33-56, 529-22-96  
e-mail: info@uap.kiev.ua, web: www.uap.kiev.ua

## 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 тепломережевої 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 газоциліндрного 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
Питоме 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 $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 35600 \text{ кДж/м}^3$ ), $\text{м}^3/\text{ч}$	$70 \pm 5\%$
Питома витрата палива, $\text{м}^3/\text{МВт}$ , не більше	115,5
Питома споживання електроенергії, $\text{кВт}/\text{МВт}$ , не більше	2,22
Вміст оксидів азоту (у перерахунку на $\text{NO}_2$ ) у сухих продукти згоряння (наведене до $\alpha = 1$ ), $\text{мг}/\text{м}^3$ , не більше	200
Робочий тиск води в котлі, МПа	0,6
Температура води на виході з котла, $^{\circ}\text{C}$	95
Розрахунковий перепад температур води, $^{\circ}\text{C}$	25
Розрахункова витрата води, $\text{м}^3/\text{год}$	22
Розрахункова температура відхідних газів, $^{\circ}\text{C}$	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 тепlopостачання.

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 монтується 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

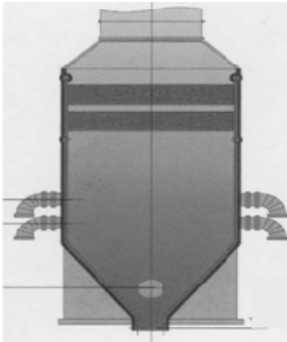
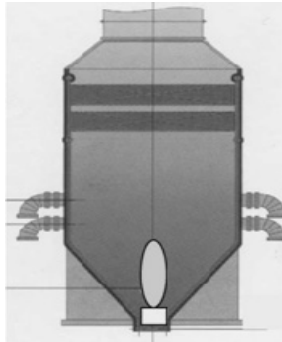


Схема модернізації  
ШЕ+ІГ



Встановлення до-  
даткового подового  
щільного пальника



Схема модернізації  
ВАТ «Дорогобужкотломаш»

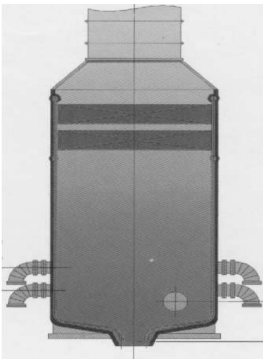
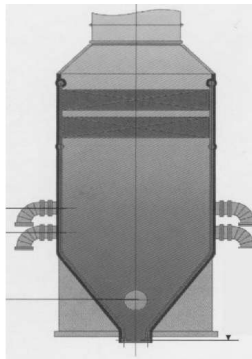


Схема модернізації  
фірми SAACKE (ФРГ)



– 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.

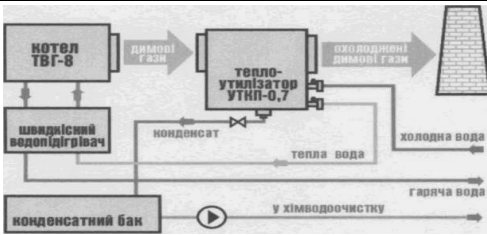
Розроблено спеціальні двоколекторні пальники, що дозволяють експлуатувати котел у широкому діапазоні навантажень від 5 до 120% з високими техніко-економічними та екологічними показниками. Ці газові пальники можуть бути встановлені під час ремонту або модернізації існуючих пальників котлів ДЕ. Заміна 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>ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД КОНДЕНСАЦІЙНОГО ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРА УТКП-0,7</p> <p>1-теплообмінник 2-байпасний газокід 3-сигурне вікно 4-конденсаторічний з'єднувач труби 6-зварний клапан</p>		<p><b>Технічні характеристики</b> контактної комбінованої теплоутилізаційної установки, змонтованої за котлоагрегатом ДКВР-10/13</p>	
		<p>Паропродуктивність котлоагрегату, т/г</p>	<p>9,8</p>
		<p>Частка димових газів, що проходять через еконо- майзер, %</p>	<p>50</p>
		<p>Коефіцієнт розбавлення продуктів згоряння перед установкою</p>	<p>1,64</p>
		<p>Температура димових газів, °С:</p> <p>– перед економайзером</p> <p>– після економайзера</p>	<p>110</p> <p>38</p>
		<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>	<p>–10</p> <p>33</p> <p>46</p> <p>230</p> <p>320</p> <p>15,4</p> <p>5,33</p>
<p><b>Технічні характеристики</b> теплоутилізатора УТКП-0,7</p>			
Теплова продуктивність номінальна, МВт	0,7		
Підвищення коефіцієнту використання палива, %	8		
Температура димових газів на вході ТУ, °С	183		
Температура димових газів на виході ТУ, °С	90		
Максимальні витрати відхідних газів, кг/сек	3,15		
Температура води на вході ТУ, °С	10		
Температура води на виході, °С	22,5		
Максимальні витрати води, т/год°	50		
Максимальний об'єм виникаючого конденсату, кг/с	0,13		
pH конденсату	5,0		
Аеродинамічний опір, Па	250		
Гідравлічний опір, кПа	30		
Габаритні розміри, мм	2250/ 1100/ 1700		
Маса ТУ, кг	750		



**Теплоутилізатор УТНП-0,7  
м. Чернігів**

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)

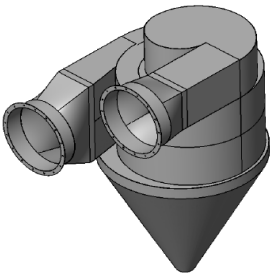
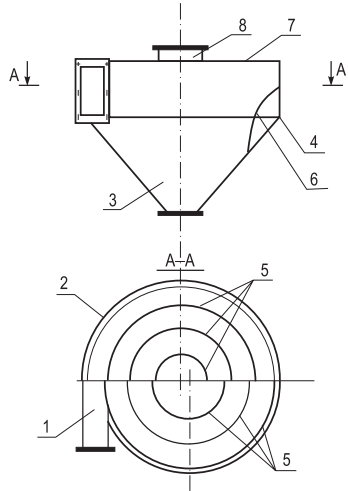
## ВІДЦЕНТРОВИЙ ФІЛЬТР

**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.).



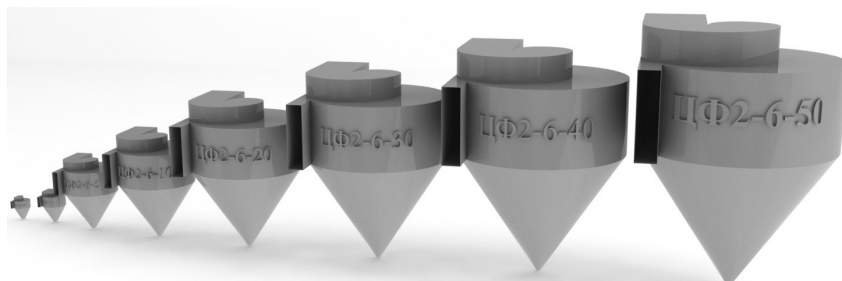
Модулі відцентрових фільтрів можуть компоуватися як в блоки заданої продуктивності, так і у вигляді багаторівневих систем очищення.

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.

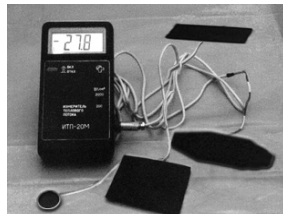
◆ Визначати об'ємну кількість неагресивних газів в установках комунальних та промислових підприємств (теплообмінні установки, генератори вологого газу).

◆ 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. 11,74.  
Обл.-вид. арк. 10,38. Тираж 200 екз. Зам. № 2931.

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 ЕКОНОМІКИ, ДОВКІЛЛЯ  
ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ  
ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ  
ВСЕУКРАЇНСЬКА ЕНЕРГЕТИЧНА АСАМБЛЕЯ  
КОНСОРЦІУМ З РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

XXXV міжнародна конференція

## ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

м. Київ, 17–19 грудня 2025 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.

Органітет 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)