

# ПРОГНОЗУВАННЯ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРНОГО РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2020, 2(61): 30–37  
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2020.02.030>

УДК 620.9:628.5

**О.І. ТЕСЛЕНКО**, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-3772-5991

Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

## НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОТЕЛЕНЬ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ УКРАЇНИ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИМОГ

*За показником середньозваженої собівартості теплової енергії за життєвий цикл (LCOH), який враховує витрати на виконання екологічних вимог, визначено напрями подальшого розвитку й функціонування потужних опалювальних котельних системи централізованого теплопостачання України. Визначено LCOH для сформованих трьох груп котлоагрегатів опалювальних котельних: реконструйовані з впровадженням природоохоронних технологій; модернізовані з оснащенням природоохоронним обладнанням та заміщені новими, які відповідають сучасним екологічним вимогам.*

*Ключові слова:* теплопостачання, котлоагрегат, тепла енергія, середньозважена собівартість, екологічні вимоги, викиди.

За даними Міжнародного енергетичного агентства (ІЕА) ~ 70% всіх шкідливих викидів у атмосферу безпосередньо скидають об'єкти промисловості та енергетики, що призводить до непоправної шкоди здоров'ю людей та негативно впливає на довкілля [1]. Ця екологічна проблема вже достатньо давно вийшла на загальносвітовий рівень і багато країн намагається її вирішити шляхом реалізації міжнародних та національних природоохоронних стратегій, програм та планів.

В умовах сталого розвитку суспільства в країнах Європейського Союзу (ЄС) вирішення проблеми зменшення забруднення атмосферного повітря є одним з пріоритетних завдань. Зокрема, більш жорсткі граничні питомі рівні викидів забруднюючих речовин від великих опалювальних установок номінальною тепловою потужністю 50 МВт і більше регламентуються вимогами Директиви 2010/75/ЄС "Про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення)" (далі – Директива 2010/75/ЄС) [2]. Ця Директива 2010/75/ЄС заміщає взяті на себе раніше Україною зобов'язання за Директивою 2001/80/ЄС [3] при вступі до Європейського Енергетичного Співтовариства, але,

внаслідок того, що Директиви ЄС не є документами прямої дії, вимагається її імплементація в національному законодавстві України.

Національним планом скорочення викидів (далі – НПСВ) [4], прийнятим Кабінетом Міністрів України у 2017 р. з метою виконання зобов'язань України в рамках Договору про заснування Енергетичного Співтовариства [5] в частині обмеження викидів забруднюючих речовин, а саме на виконання вимоги Директиви 2010/75/ЄС, передбачається до 2033 р. зменшення викидів деяких забруднюючих речовин до рівня вимог цієї Директиви. Існуючі котлоагрегати та котельні, які не будуть відповідати вимогам Директиви 2010/75/ЄС, повинні бути виведені з експлуатації або замінені на сучасні, більш екологічно безпечні. До НПСВ було включено 28 існуючих великих опалювальних котелень СЦТ сумарною тепловою потужністю водогрійних котлоагрегатів ~7810 МВт, які використовують в якості основного палива природний газ, та розташовані в містах: Києві (4212,3 МВт), Кривому Розі (1958 МВт), Харкові (1126,49 МВт), Львові (407 МВт) та Одесі (106,0 МВт). Теплова потужність цих котелень складає тільки 16% від загальної теплової потужності великих опалювальних котелень СЦТ України (рисунки), які пе-

© О.І. ТЕСЛЕНКО, 2020

ребували в експлуатації станом на початок 2015 р. (статистична група котелень тепловою потужністю понад 116,3 МВт, яка складалась з 161 котельні загальною потужністю 42122,6 Гкал/год (48988,6 МВт)) [6].

У 2018 р. Україна внесла відповідні зміни в Технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт (далі – Технологічні нормативи) [7], чим обумовлюється необхідність активного виконання робіт у напрямку приведення питомих викидів від великих спалювальних установок у відповідність новим встановленим екологічним нормам.

Сценарії розвитку котелень, що увійшли до НПСВ, розглянуто у публікаціях [8–11]. Оскільки в НПСВ включено лише котельні на природному газі, забруднюючими речовинами, концентрація яких має відповідати Директиві 2010/75/ЄС, є оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ) та окис вуглецю ( $\text{CO}$ ). Оксиди азоту є одними з найбільш шкідливих забруднювачів при спалюванні будь-якого палива: межова допустима максимально разова концентрація в атмосферному повітрі для діючого азоту складає всього  $0,085 \text{ мг/м}^3$ , що приблизно в 60 разів менше, ніж для окису вуглецю ( $5 \text{ мг/м}^3$ ) [12].

Викиди оксидів азоту при спалюванні природного газу на потужних опалювальних котлах СЦТ України на поточний час складають  $200\text{--}240 \text{ мг/нм}^3$  без застосування технологій їх зменшення [8]. Згідно з Директивою 2010/75/ЄС, граничні значення викидів оксидів азоту в атмосферне повітря при спалюванні природного газу визначаються для сумарної номінальної теплової потужності усіх спалювальних установок, які під'єднані до однієї димової труби, не можуть перевищувати концентрації  $100 \text{ мг/нм}^3$ . Для виконання цих вимог необхідно будівництво нових або реконструкція чи модернізація існуючих котлоагрегатів з обов'язковим встановленням обладнання для зменшення концентрації  $\text{NO}_x$  у викидах.

Фахівцями Інституту газу НАН України запропоновано план дій щодо виконання екологічних Директив Європейського Союзу газовими котлоагрегатами одночасно з підвищенням їх техніко-економічних показників і ресурсу та покращенням екологічних параметрів [8]. Зокрема, ці фахівці звертають увагу, що згідно з Директивою 2015/2193 [13] для існуючих середніх спалювальних установок номінальною тепловою потужністю менше 50 МВт допускаються значно вищі рівні викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря (для оксидів азоту до  $200 \text{ мг/нм}^3$ ). Ця обставина обумовлює доціль-

ність перемаркування частини існуючих котлоагрегатів на нову зменшену номінальну потужність з метою формального отримання «нових» спалювальних установок з номінальною тепловою потужністю менше 50 МВт і таким чином вивести частину існуючих котлоагрегатів з-під дії Директиви 2010/75/ЄС.

За результатами досліджень Українського центру економічних та політичних досліджень ім. О. Разумкова капітальні витрати на впровадження режимно-технологічних заходів зменшення викидів оксидів азоту (низько-емісійні пальники, рециркуляція димових газів, ступінчаста подача повітря тощо) на великих спалювальних установках тепловою потужністю 50 МВт і більше на природному газі, які включені до НПСВ (установлених на ТЕС, ТЕЦ та опалювальних котельнях), загальною номінальною тепловою потужністю  $15498 \text{ МВт}$  за питомих витратах  $7,44 \text{ євро/кВт}$  номінальної теплової потужності становлять  $115 \text{ млн євро}$  [11].

*Метою статті* є визначення можливих напрямів перспективного розвитку опалювальних котелень СЦТ України в умовах діючих екологічних вимог з використанням показника середньозваженої собівартості теплової енергії за життєвий цикл, у якому враховано витрати на природоохоронні заходи.

*Методика досліджень.* Для визначення напрямів перспективного розвитку потужних опалювальних котелень СЦТ України було проведено аналіз технічних, екологічних та економічних показників котельного обладнання за наступними етапами дослідження:

а) аналіз технічного стану існуючого котельного обладнання та формування груп котельних за обраним критерієм (термін експлуатації);

б) вибір технологічних заходів з оснащення існуючого або нового котельного обладнання для відповідності його роботи сучасним екологічним вимогам;

в) формування напрямів та сценаріїв розвитку котлоагрегатів СЦТ, що є характерними для опалювальних котелень, з врахуванням екологічних вимог та визначення вартості реалізації розроблених сценаріїв;

г) формування вихідних даних та обчислення показника середньозваженої собівартості теплової енергії за життєвий цикл для сформованих груп котлоагрегатів / котельних, які підлягають модернізації, реконструкції або заміні на нове котельне обладнання.

*Результати досліджень.*

В Україні майже всі котлоагрегати потужних опалювальних котелень СЦТ були введені в експлуатацію в 60–70 рр. минулого століття і відпрацювали свій проектний ресурс та стрімко

наближаються до повного вироблення фізичного ресурсу.

Для визначення напрямів подальшого розвитку цих котелень необхідно оцінити економічну ефективність рішень щодо:

а) подальшої експлуатації існуючих котлоагрегатів з мінімальними капітальними витратами та зростанням експлуатаційних витрат, обумовлених фізичним зношенням, низькою енергоефективністю та технологічною застарілістю існуючих котлоагрегатів, для досягнення відповідності сучасним екологічним вимогам шляхом їх реконструкції або модернізації з подовженням короткострокового терміну експлуатації (до 10–20 років).

б) будівництва нових котлоагрегатів на заміну існуючих, які відповідають сучасним екологічним вимогам, енергоефективні, мають порівняно низькі експлуатаційні витрати та значний термін подальшої експлуатації (до 30–40 років), однак потребують значних початкових капітальних затрат.

Сценарії подальшого розвитку потужних опалювальних котелень СЦТ з НПСВ наведено у публікації [9].

Для аналізу наведених у [9] сценаріїв котлоагрегати 20 потужних опалювальних котелень СЦТ в містах Київ, Харків та Одеса, які включені до НПСВ, були поділені на три умовні групи за терміном їх напрацювання (більше 60 років, від 40 до 60 років та менше 40 років) та сумарною встановленою тепловою потужністю котлоагрегатів/котелень цих груп.

Необхідні капітальні витрати для реалізації запропонованих сценаріїв розвитку складуть:

а) 546,75 млн грн. за прогресивним сценарієм, на заміну застарілих котлоагрегатів загальною тепловою потужністю 0,675 ГВт, які були введені в експлуатацію до 1960 р.;

б) 1424,79 млн грн. за традиційним сценарієм, на повну реконструкцію існуючих котлоагрегатів загальною тепловою потужністю 3,518 ГВт, які були введені в експлуатацію в період з 1960 р. по 1980 р.;

в) 338,04 млн грн. за консервативним сценарієм, на модернізацію котлоагрегатів загальною тепловою потужністю 1,252 ГВт, які були введені в експлуатацію в період з 1980 р. по 2011 р.

Загальні капітальні витрати на розвиток для відповідності сучасним екологічним вимогам цих 20 котелень СЦТ України сумарною встановленою тепловою потужністю 5,445 ГВт, які включені до НПСВ, за цими сценаріями складають ~2,31 млрд грн. (85,54 млн дол. США).

Методичний підхід, використаний у [9] для формування сценаріїв розвитку котелень, які включені до НПСВ, був застосований при роз-

робленні напрямів перспективного розвитку котелень СЦТ України до 2040 р. та схематично представлено на рисунку.

Аналіз прогнозу змін теплової потужності котелень СЦТ до 2040 року [14] та хронологічної послідовності впровадження вимог Директиви 2010/75/ЄС, НПСВ і Технологічних нормативів дозволяє виділити основні етапи та напрями розвитку СЦТ України в умовах сучасних екологічних вимог.

Етап 1 (з 2015 р. до 2028 р.) (*сектор I, рис.*) внаслідок трансформації структури теплогенерувальних потужностей та підвищення енергоефективності споживання теплової енергії прогнозується суттєве зменшення загальної встановленої теплової потужності котелень СЦТ з 79,7 ГВт до 39,0 ГВт (майже на 50%) [14] шляхом виведення з експлуатації технологічно застарілого та фізично зношеного котельного обладнання. Протягом етапу 1 котельні СЦТ потужністю 50 МВт і більше повинні відповідати вимогам п.2 розділу 3 Технологічних нормативів: масові концентрації оксидів азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту під час спалювання газоподібного палива для існуючих котельних установок не мають перевищувати 300 мг/нм<sup>3</sup>.

Етап 2 (з 2028 р. до 2034 р.). З 01.2028 р. припиняється дія п. 2 розділу 3 Технологічних нормативів для існуючих котлів, які не включені до НПСВ. Прогнозована загальна теплова потужність котелень СЦТ складе ~39,0 ГВт [14], з яких ~31,1 ГВт повинні будуть відповідати більш жорстким вимогам Директиви 2010/75/ЄС, зокрема, масові концентрації оксидів азоту не мають перевищувати 100 мг/нм<sup>3</sup>, як для існуючих, так і для нових котлоагрегатів. Виключенням будуть котельні сумарною потужністю 7,8 ГВт (*сектор II, рис.*), які включені до НПСВ і для яких масові концентрації оксидів азоту не мають перевищувати 500 мг/нм<sup>3</sup> до 31.12.2033 р.

Етап 3 (з 2034 р. до 2040 р.). Станом на 01.2034 р. (дата закінчення дії НПСВ) прогнозована загальна теплова потужність котелень СЦТ буде дорівнювати 34,0 ГВт [14], які усі повинні будуть відповідати вимогам Директиви 2010/75/ЄС. Протягом етапу 3 буде продовжуватись зменшення загальної встановленої теплової потужності. На закінчення етапу 3 котли, введені в експлуатацію в 60–70-х роках минулого століття, досягнуть критичного віку (65–75 років). Котли, введені в експлуатацію в 70–80-х роках минулого століття, досягнуть граничного віку 50–60 років, що обумовить необхідність виводу їх з експлуатації в найближчі 5–10 років (*сектор III, рис.*).

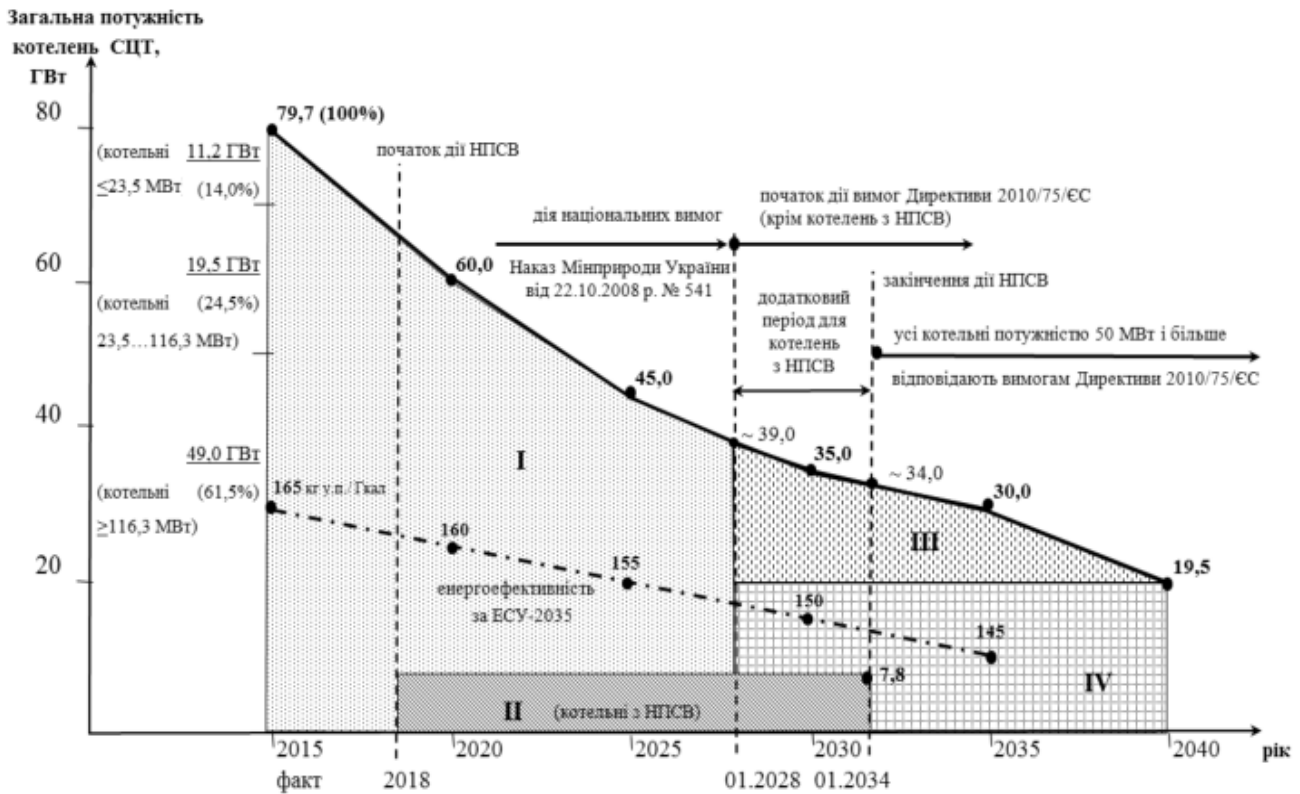


Рис. Етапи та напрями розвитку котелень СЦТ в умовах сучасних екологічних вимог

Етап 4 (після 2040 р.). Станом на 2040 р. прогнозується зменшення загальної установленої теплової потужності котелень СЦТ до 19,5 ГВт [14] (сектор IV, рис.), які будуть відповідати екологічним обмеженням Директиви 2010/75/ЄС та Енергетичної стратегії України до 2035 р. (ЕСУ-2035) [15] щодо енергоефективності (питомі витрати палива при виробництві тепла котельними не повинні перевищувати 145 кг у.п./Гкал).

Можна припустити, що в Україні СЦТ збережеться тільки у великих містах з щільною житловою багатоповерховою забудовою, в яких будуть експлуатуватись існуючі котельні тепловою потужністю 50 МВт і більше, що спалюватимуть природний газ.

Напрями розвитку СЦТ України до 2040 р. із застосуванням потужних спалювальних установок (котлоагрегатів) можна визначити як прогресивний, традиційний та консервативний.

Прогресивний напрям розвитку передбачає заміну усіх існуючих котлоагрегатів на сучасні енергоефективні, які відповідають екологічним вимогам Директиви 2010/75/ЄС. Технологічний, економічний та екологічний рівні нових котлоагрегатів будуть відповідати сучасним вимогам та вони матимуть достатньо тривалий термін подальшої експлуатації 30–40 років. Прогнозована загальна потужність котелень СЦТ на

2040 р. становитиме 19,5 ГВт. Питомі капітальні затрати на впровадження нових котлоагрегатів становитиме приблизно 30\$/кВт установленої теплової потужності. Загальні капітальні затрати на впровадження нових котлоагрегатів складуть  $19,5 \text{ ГВт} \cdot 30 \text{ млн } \$/\text{ГВт} = 585 \text{ млн } \$$ .

Традиційний напрям розвитку передбачає подовження терміну експлуатації існуючих котлів на 15–20 років, переважна більшість яких побудована в 60–70-х роках минулого століття та станом на 2040 р. будуть мати час напрацювання більше 65–75 років. Технологічний та економічний рівні таких котлоагрегатів залишаться на рівні кінця минулого століття, а екологічний буде відповідати сучасним вимогам. Реконструкція таких котлів для досягнення вимог Директиви 2010/75/ЄС буде коштувати до 50% затрат на будівництво нових котлів. Таким чином можливі затрати складуть  $19,5 \text{ ГВт} \cdot 15 \text{ млн } \$/\text{ГВт} = 292,5 \text{ млн } \$$ .

Для сектору III (рис.) може бути застосовано економічний (мінімально витратний) консервативний напрям – модернізація існуючих котлів з незначним подовженням терміну експлуатації (до 10–15 років) та реалізацією мало витратних організаційних та екологічних заходів виключно для досягнення відповідності вимогам Директиви 2010/75/ЄС. Технологічний та економічний рівні існуючих котлоагрегатів залишаться на

рівні середини минулого століття, а екологічний буде відповідати сучасним вимогам. Організаційні заходи можуть бути реалізовані на котлах марок ПТВМ-50 та КВ-ГМ-50, які мають окрему димову трубу і підпадають під визначення великих спалювальних установок номінальною тепловою потужністю 50 МВт і більше, а також котельні номінальною тепловою потужністю до 70 МВт з однією загальною димовою трубою. Саме такі котли та котельні можуть бути перемарковані на номінальну теплову потужність менше 50 МВт і бути класифіковані, як спалювальні установки середньої потужності, на які вимоги Директиви 2010/75/ЄС не поширюються та для яких масові концентрації оксидів азоту не мають перевищувати  $200 \text{ мг/нм}^3$  [13]. На таких котлоагрегатах доцільно буде впровадити мало витратні екологічні заходи зі зменшення викидів оксидів азоту з загальними питомими капітальними затратами не більше  $5\$/\text{кВт}$  установленної теплової потужності. Загальні капітальні затрати на впровадження екологічних заходів складуть  $19,5 \text{ ГВт} \cdot 5 \text{ млн } \$/\text{ГВт} = 97,5 \text{ млн } \$$ . Ці котлоагрегати протягом періоду з 2028 р. по 2040 р. будуть виведені з експлуатації, пропрацювавши не більше 15 років.

Для оцінки доцільності подальшого функціонування, реконструкції і модернізації існуючих котлоагрегатів та будівництва нових котлоагрегатів на потужних котельнях СЦТ України з впровадженням комплексу природоохоронних технологій для досягнення відповідності показників по питомому впливу викидів забруднюючих речовин на довкілля від потужних спалювальних установок СЦТ до діючого нормативного законодавства України застосовано показник середньозваженої собівартості теплової енергії за життєвий цикл, або *LCOH* (англ. Levelized Cost of Heat).

*LCOH* розраховується на основі ринкових даних і відображає поточну вартість всіх витрат для виробництва однієї одиниці теплової енергії протягом певного періоду, зазвичай життєвого циклу експлуатації теплогенеруючого обладнання. Цей показник поєднує усі види витрат,

дозволяє спростити аналіз собівартості теплової енергії та використовується для первинного порівняння собівартості теплової енергії, виробленої із застосуванням різних технологій та обладнання.

Показник *LCOH*, по аналогії з *LCOE* (середньозважена собівартість електроенергії, англ. Levelized Cost of Energy), визначається як постійна вартість генерації однієї кВт·год теплової енергії, яка дорівнює дисконтованим витратам, що витрачені протягом усього життєвого циклу існування проекту. Методологія оцінки *LCOH* залежить від ступеня складності припущень (фінансових, економічних та технічних) [16–18].

Зважаючи на посилення екологічних вимог до спалюючих установок та збільшення ставок екологічного податку, необхідним є врахування екологічного фактору при визначенні *LCOH* для теплогенеруючих установок, що є перспективними для нового будівництва або подальшої експлуатації в Україні.

Для врахування витрат, що пов'язані з заходами для охорони навколишнього середовища, до *LCOH* пропонується включити вартість природоохоронного обладнання, яке має забезпечити виконання екологічних нормативів, витрати на його обслуговування та експлуатацію, а також екологічний податок. Екологічний податок в Україні є загальнодержавним обов'язковим платежем, що, зокрема, сплачується з фактичних обсягів викидів в атмосферне повітря. Ставки екологічного податку встановлюються в залежності від класу небезпечності та гранично допустимої концентрації забруднюючих речовин, орієнтовно безпечного рівня впливу сполук, рівня небезпечності відходів та їх категорій. Ставки податку на викиди в атмосферне повітря окремих забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення та порядок його обчислення наведені в Податковому кодексі України, розділ VIII, ст. 243.1 та ст. 249 [19].

*LCOH* з урахуванням екологічної складової пропонується визначати за модифікованим виразом [20]:

**Таблиця 1.** Результати обчислення показника *LCOH* для котлоагрегатів марок ПТВМ-50 та КВ-ГМ-50 на природному газі при модернізації, реконструкції та новому будівництві (заміні)

Показник	Напрямок розвитку		
	Консервативний	Традиційний	Прогресивний
Вид заходу	Модернізація	Реконструкція	Заміна на нові котли
Марка котла	ПТВМ-50	ПТВМ-50	КВ-ГМ-50
ККД котлоагрегату, %	86,3	89,6	93,8
<i>LCOH</i> , грн/Гкал	$\frac{1161,24}{(111,41\%)}$	$\frac{1112,46}{(106,73\%)}$	$\frac{1042,31}{(100,00\%)}$

$$\begin{aligned}
 LCOH = & \frac{\sum_{t=1}^N \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+t)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{H_t}{(1+r)^t}} + \\
 & + \frac{\sum_{t=1}^n \frac{(I_{ii}^{eko} + M_{ii}^{eko} + F_{ii}^{eko})}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{H_t}{(1+r)^t}} + \frac{\sum_{t=1}^N \frac{T_t^{eko}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{H_t}{(1+r)^t}},
 \end{aligned}$$

де  $LCOH$  – середньозважена собівартість теплоенергії за життєвий цикл проекту;  $t$  – поточний рік з початку спорудження або початку проекту (індекс складових витрат);  $N$  – термін існування проекту, роки;  $I_t$  – щорічні інвестиції в основне обладнання (капітальні витрати);  $M_t$  – умовно постійні витрати на обслуговування та ремонт основного обладнання, які обумовлюються установленою тепловою потужністю котлоагрегату і не залежать від  $H_t$ ;  $F_t$  – умовно змінні витрати основним обладнанням (паливо, електроенергія, вода тощо), які обумовлюються  $H_t$ ;  $H_t$  – річне виробництво теплової енергії,  $r$  – дисконтна ставка (дисконт), що відображає швидкість здешевлення інвестиційного капіталу з роками (або вартість капіталу);  $I_{ii}^{eko}$  – щорічні інвестиції у природоохоронні технології;  $i$  – вид природоохоронної технології;  $n$  – кількість природоохоронних технологій у рік  $t$ , що впроваджені на котлоагрегаті;  $M_{ii}^{eko}$  – умовно постійні витрати на обслуговування та ремонт природоохоронного обладнання, не залежать від  $H_t$ ;  $F_{ii}^{eko}$  – умовно змінні витрати на ресурси, що витрачаються на природоохоронну діяльність: паливо, електроенергія тощо, які залежать від  $H_t$ ;  $T_t^{eko}$  – екологічний податок на валові викиди забруднюючих речовин.

Для оцінювання можливості виконання сучасних екологічних вимог потужними котельними СЦТ визначено та проаналізовано заходи та технології, які дозволяють запобігти первинному утворенню оксидів азоту при спалюванні

природного газу в котлоагрегатах: використання малотоксичних пальників, технології ступеневого спалювання з розподіленням палива між ярусами пальників, рециркуляція димових газів та подача третинного повітря вище факела згоряння палива в пальниках або комбінований метод із застосуванням кількох наведених технологій. Комплексне застосування цих технологій зменшення викидів оксидів азоту з сумарною ефективністю їх зменшення на 50–60% забезпечить виконання вимог Директиви 2010/75/ЄС (<100 мг/нм<sup>3</sup>) на потужних опалювальних котельнях СЦТ України [21].

На потужних опалювальних котельнях СЦТ України переважно використовуються водогрійні котли марок ПТВМ та КВ-ГМ, які спалюють природний газ. Обраховано, що сумарні питомі витрати на комплексне впровадження наведених вище технологій зменшення викидів оксидів азоту для водогрійних котлів марок ПТВМ та КВ-ГМ становлять 165,88–283,35 грн/кВт встановленої теплової потужності котлоагрегату [21].

Обчислення показника  $LCOH$  для проектів з реконструкції і модернізації існуючих котлоагрегатів та будівництва нових котлоагрегатів на потужних котельнях СЦТ виконано за наведеним вище модифікованим виразом із застосуванням розробленої у середовищі MS Excel розрахункової програми, яка дозволила провести варіантні розрахунки середньозваженої собівартості теплової енергії для різних марок водогрійних котлоагрегатів при комбінованих варіантах застосування технологій зі зменшення викидів оксидів азоту в атмосферне повітря. Вихідна інформація по заходах зі зниження викидів оксидів азоту наведена у публікаціях [8, 21].

У табл.1 наведено результати обчислення показника  $LCOH$  з урахуванням впровадження заходів із дотримання екологічних вимог щодо існуючих газових котлоагрегатів марки ПТВМ-50, для яких пропонується мало витратна модернізація або середньо витратна реконструкція та нових котлоагрегатів марки КВ-ГМ-50 вироб-

**Таблиця 2.** Середньозважена собівартість теплової енергії за життєвий цикл з урахуванням екологічної складової для котла марки КВ-ГМ- 50 (нове будівництво), грн/Гкал, [20]

Тип котла, теплова потужність, паливо	Паливна складова $LCOH$	$LCOH$ без екологічної складової	Екологічна складова (обладнання)	Екологічна складова (податок)	Екологічна складова (загалом)	$LCOH$ з екологічною складовою
КВ-ГМ-50, 58,2 МВт, природний газ	<u>995,3</u> (95,49%)	<u>1020,9</u> (97,95%)	<u>18,03</u> (1,73%)	<u>3,38</u> (0,33%)	<u>21,41</u> (2,06%)	<u>1042,31</u> (100%)

ництва енергомашинобудівельного холдингу «Котлотурбопром» (м. Харків), що можуть бути побудовані замість фізично зношених та технологічно застарілих існуючих котлоагрегатів або на нових котельнях [22].

Як видно з табл. 1, існуючі котлоагрегати, які для досягнення відповідності екологічним вимогам будуть мало витратно модернізовані із збереженням поточної низької енергоефективності (ККД = 86,3%) або середньо витратно реконструйовані з досягненням вихідних проектних показників енергоефективності (ККД = 89,6%), матимуть суттєво більші значення *ЛСОН* (на 7–11% більше) порівняно з сучасними більш енергоефективними котлоагрегатами, що обумовлено більшим споживанням палива і, як наслідок, більшими валовими викидами забруднюючих речовин, а також більшими витратами на ремонтно-профілактичне обслуговування.

В умовах зростання вартості палива та податкових ставок на викиди забруднюючих речовин ця різниця буде тільки збільшуватись, що обумовить зменшення конкурентоздатності застарілого існуючого котельного обладнання, як модернізованого, так і реконструйованого, порівняно з новими більш енергоефективними та екологічно безпечними котлоагрегатами, які в перспективі, у відповідності до чинної Енергетичної стратегії України до 2035 р. [15], повинні досягти показників питомих витрат умовного палива на одиницю теплової енергії не меншої ніж 145 кг у.п./Гкал (ККД = 98,5%).

У табл. 2 наведені паливна та екологічна складові середньозваженої собівартості теплової енергії за життєвий цикл для котла марки КВ-ГМ-50, призначеного для заміни існуючих застарілих котлоагрегатів або будівництва нових котельень.

Як видно з табл. 2, *ЛСОН* переважно визначається вартістю спожитого палива, частка якого складає 95%. Частка екологічної складової складає тільки 2% загального значення *ЛСОН* за умови поточного рівня податкової ставки на валові викиди оксидів азоту  $\text{NO}_x$  (2451,84 грн/т) та оксиду вуглецю (92,37 грн/т) [19] та у найближчій перспективі ці ставки будуть зростати у кілька разів, що обумовить збільшення як цієї складової, так і *ЛСОН* загалом.

## ВИСНОВКИ

На основі вибору існуючих ефективних заходів зі зменшення викидів оксидів азоту в атмосферу від потужних котлоагрегатів сформовано три основні напрями розвитку груп опалювальних котельень системи централізованого теплопостачання (СЦТ) України до 2040 р. з

урахуванням сучасних екологічних вимог: прогресивний (заміна фізично зношених та технологічно застарілих котлоагрегатів на сучасні енергоефективні, які відповідають новим екологічним вимогам), традиційний (повна реконструкція існуючих застарілих котлоагрегатів для досягнення відповідності новим екологічним вимогам з подовженням терміну експлуатації обладнання) та консервативний (модернізація існуючих застарілих котлоагрегатів тільки для забезпечення відповідності новим екологічним вимогам).

Зважаючи на поточний стан економіки України та значні капітальні витрати на осучаснення котельного обладнання для досягнення відповідності сучасним екологічним вимогам, набуває суттєвої ваги вибір напрямів розвитку СЦТ до 2040 р., який доцільно реалізовувати поєднанням прогресивного (високо витратного), традиційного (середньо витратного) та консервативного (мало витратного) напрямів з метою оптимізації фінансових, матеріальних та часових ресурсів.

Показано більшу конкурентоздатність на ринку генерації теплової енергії котлоагрегатів за прогресивним напрямом розвитку: показник середньозваженої собівартості теплової енергії за життєвий цикл для них на 7–11% нижче, а термін їх подальшої експлуатації в 2–3 рази більше, ніж для котлоагрегатів за іншими напрямками розвитку.

1. Market Report Series: Coal 2017. Analysis and Forecasts to 2022. International Energy Agency (IEA). 2017. 148 p. ISBN PDF 978-92-64-28758-7 / URL: <https://webstore.iea.org/market-report-series-coal-2017> (дата звернення: 04.11.2019).

2. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control): *Official Journal of the European Union*. 2010. 17 December. Vol. 53. 119 p.

3. Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants. *Official Journal of the European Communities*. 2001. 27 November. 21 p.

4. Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 року № 796-п. URL: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art\\_id=245255506&cat\\_id=245255478//](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245255506&cat_id=245255478//) (дата звернення: 06.11.2019).

5. Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства: Закон України N 2787-VI від 15 грудня 2010 р.

6. Про основні показники роботи опалювальних котельень і теплових мереж в Україні. Статистичний

бюлетень. Відп. за випуск І.С. Петренко. Державна служба статистики України, 2015. 17 с.

7. Про затвердження технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт: Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 22.10.2008 р. № 541.

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

9. Тесленко О.І. Сценарії розвитку котелень централізованого теплопостачання України, які включені до Національного плану скорочення викидів. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. Вип. 4(59). С. 54—62.

10. Тесленко О.І., Маляренко О.Є. Розвиток котелень системи централізованого теплопостачання України в умовах міжнародних та внутрішніх екологічних угод та обмежень. Матеріали міжнародної наукової конференції «*Science, engineering and technology: global and current trends*». Prague, Czech Republic. December 27–28, 2019. Р. 96—100.

11. Омельченко В.Ю., Білявський М.Л. Нацплан скорочення викидів: поточний стан та проблеми реалізації у розрізі міжнародного досвіду. Український центр економічних та політичних досліджень ім. О. Разумкова. 2019. URL: <http://razumkov.org.ua/statti/natsplan-skorochennia-vykydiv-potochnyistan-ta-problemy-realizatsii-u-rozrizi-mizhnarodnogodosvidu> (дата звернення: 09.01.2020).

12. ДСП-201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 9 липня 1997 р. № 201. Зупинення дії Наказу з 31.07.2014. Повідомлення Державної служби України з питань регуляторної політики та розвитку підприємництва від 07.08.2014. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97#Text> (дата звернення 07.11.2019).

13. Directive (EU) 2015/2193 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on

the limitation of emissions of certain pollutants into the air from medium combustion plants. *Official Journal of the European Union*. 2015. 28 November. Vol. 58. P.1—19.

14. Кулик М.М., Горбулін В.П., Кириленко О.В. Концептуальні підходи до розвитку енергетики України (аналітичні матеріали). Київ: Інститут загальної енергетики НАН України, 2017. С. 60—62.

15. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/605-2017-%D1%80> (дата звернення: 06.11.2019).

16. Projected Costs of Generating Electricity. International Energy Agency (IEA). 2015. 215 p.

17. Baez, M.J., Larriba Martínez, T. Technical Report on the Elaboration of a Cost Estimation Methodology. No. D.3.1. Creara, Madrid, Spain, 2015.

18. Gabbrielli R., Castrataro P., Del Medico F., Di Palo M., Lenzo B. Levelized cost of heat for linear Fresnel concentrated solar systems. *Energy Procedia*. 2014. 49. 1340—1349.

19. Податковий кодекс України, розділ VIII. Екологічний податок. Державна фіскальна служба України. URL: <http://sfs.gov.ua/nk/rozdil-viii-ekologichniy-poda/> (дата звернення: 09.01.2020).

20. Станиціна В.В., Куц Г.О., Тесленко О.І., Маляренко О.Є. Порівняльний аналіз середньої вартості теплової енергії, виробленої в котельнях різної потужності, з урахуванням екологічної складової. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2020. № 2. С. 55—62. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2020.07>

21. Тесленко О.І. Техніко-економічні показники технологій зменшення викидів оксидів азоту від потужних опалювальних котлів. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. Вип. 3(58). С. 30—36.

22. ТОВ «КОТЛОТУРБОПРОМ». Комунальна теплоенергетика (ТЕЦ та котельні). URL: <https://ktp.must-ipra.com/solutions/kommunalnaja-teploenergetika-tjes-i-k/> (дата звернення: 07.11.2019).

*Надійшло до редколегії: 30.04.2020*