

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ ЕНЕРГЕТИКИ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2019, 4(59): 54–62
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2019.04.054>

УДК 502.3:662.613.5

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

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

СЦЕНАРІЇ РОЗВИТКУ ДЖЕРЕЛ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ УКРАЇНИ, ВКЛЮЧЕНИХ ДО НАЦІОНАЛЬНОГО ПЛАНУ СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ

Для відповідності новим, більш жорстким екологічним вимогам Директиви 2010/75/ЄС сформовані сценарії розвитку котельень централізованого теплопостачання України, які включені до Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок: прогресивний (технічне переоснащення шляхом заміни фізично зношених та технологічно застарілих котлоагрегатів на сучасні енергоефективні, які відповідають новим, більш жорстким екологічним вимогам), традиційний (повна реконструкція існуючих застарілих котлоагрегатів для досягнення відповідності новим екологічним вимогам з подовженням терміну експлуатації обладнання) та консервативний (модернізація існуючих котлоагрегатів тільки для забезпечення відповідності новим екологічним вимогам). Для даних опалювальних котельень визначено необхідні капітальні затрати при реалізації цих сценаріїв.

Ключові слова: централізоване теплопостачання, водогрійні котли, екологічні вимоги, сценарії розвитку, капітальні затрати.

Система централізованого теплопостачання (СЦТ) є однією з важливих галузей паливно-енергетичного комплексу України. Структура теплоенергетичних джерел з виробництва теплової енергії за останнє десятиліття не змінилась і основним виробником тепла залишаються опалювальні котельні, частка яких в загальному тепловому балансі СЦТ варіюється в діапазоні від 55 до 62%. У 2018 р. опалювальними котельнями було вироблено 248,1 млн ГДж теплової енергії, що складає 62% її загального виробництва в СЦТ [1].

За даними Держстату України в 2014 р. статистичною групою в складі 161 котельні потужністю 116,3 МВт (100 Гкал/год) і більше, що складала 0,52% загальної кількості опалювальних котельень в Україні та експлуатувала котли сумарною тепловою потужністю 48988,6 МВт (42122,6 Гкал/год), питома вага яких дорівнювала 43,8% сумарної потужності опалювальних котельень, було вироблено 46,2% загального вироб-

ництва теплової енергії, а саме 39,2 млн МВт·год (33718,4 тис. Гкал) [2].

Здебільшого на цих опалювальних котельнях експлуатуються водогрійні котли великої теплової потужності типу ПТВМ та КВ-ГМ, які використовують природний газ, як основне паливо, та мазут, як резервне. Майже всі ці котли та котельні були побудовані до 1991 р., переважна частина з них введені в експлуатацію ще в 60–70-ті роки минулого століття та пропрацювала більше 40–60 років.

У табл. 1 наведено відомості щодо водогрійних котлів, встановлених на потужних районних опалювальних котельнях та ТЕЦ України, які працюють на природному газі.

Саме до таких потужних водогрійних котлів і котельень номінальною тепловою потужністю 50 МВт і більше¹ висуваються жорсткі екологічні вимоги Директиви Європейського Парламенту та Ради 2010/75/ЄС «Про промислові викиди (комплексне запобігання і контроль забруднень)» (далі – Директива 2010/75/ЄС) [5], План імплементації

© О.І. ТЕСЛЕНКО, 2019

¹ Номінальна теплова потужність – енергетичний вміст палива, введеного за одиницю часу в спалювальну установку для отримання встановленої вихідної потужності; вимірюється в МВт.

Таблиця 1. Водогрійні котли потужних котельень та ТЕЦ України [3]

№	Тип водогрійного котла	Кількість, одиниць [4]	Потужність, МВт (Гкал/год)	ККД, %	Витрати палива*, м ³ /год	Компоновка	Кількість палиників, одиниць
1	ПТВМ-180	8	209,34 (180)	88,8	25300	баштова	20
2	КВ-ГМ-180	10	210 (180)	88,8	25300	Т-подібна	6
3	ПТВМ-100	28	116,3 (100)	88,6	14100	баштова	16
4	КВ-ГМ-100	21	116,3 (100)	93,0	12520	П-подібна	3
5	ПТВМ-50	24	58,15 (50)	89,6	6720	баштова	12
6	КВ-ГМ-50	4	58,2 (50)	92,5	6260	П-подібна	2
7	ПТВМ-30М	13	40,7 (35)	90,1	5200	П-подібна	6
8	КВ-ГМ-30	н/д	34,9 (30)	91,0	3860	комбінована	1

* - для природного газу з нижньою теплотворною здатністю 36,1 МДж/нм³ (8620 ккал/нм³); н/д – немає даних

ментації [6] якої в 2015 р. прийняла Україна, як член Енергетичного Співтовариства. Згідно Директиви 2010/75/ЄС, граничні значення викидів оксидів азоту в атмосферне повітря при спалюванні природного газу визначаються для сумарної номінальної теплової потужності усіх спалювальних установок, що підключені до однієї димової труби, не можуть перевищувати концентрації 100 мг/нм³ (для сухих димових газів при температурі 273,15 К та тиску 101,325 кПа з вмістом кисню O₂ = 3%). При спалюванні природного газу оксиди азоту є фактично єдиним значним забруднювачем довкілля.

Національним планом скороченням викидів (далі – НПСВ) [7], схваленим Кабінетом Міністрів України на виконання вимоги Директиви 2010/75/ЄС, передбачається до 2033 р. зменшення викидів оксидів азоту до рівня вимог цієї Директиви 2010/75/ЄС. Існуючі котли та котельні, які не будуть відповідати вимогам Директиви 2010/75/ЄС, повинні бути виведені з експлуатації та замінені на сучасні, більш екологічно безпечні.

До НПСВ було включено 20 існуючих великих опалювальних котельень СЦТ сумарною тепловою потужністю водогрійних котлів 5444,79 МВт, які використовують в якості основного палива природний газ, та розташовані в містах Києві (4212,3 МВт), Харкові (1126,49 МВт) та Одесі (106,0 МВт). Теплова потужність цих котельень складає тільки 12,5% від загальної теплової потужності великих опалювальних котельень СЦТ України, які перебували в експлуатації станом на початок 2015 р. (статистична група котельень тепловою потужністю понад 116, 3 МВт).

З них 8 водогрійних котлів загальною потужністю 674,55 МВт (переобладнанні вугільні парові котли енергетичного призначення переважно

закордонного виробництва), які були введені в експлуатацію в післявоєнні роки (1946–1954 рр.) на СТ-1 (колишня ТЕЦ-3) та СТ-2 (колишня ТЕЦ-2) м. Києва, є технологічно застарілими і фізично зношеними, мають значне напруження 65–75 років та потребують безумовної заміни на сучасні енергоефективні та екологічно безпечні котли.

На початку 60-х рр. минулого століття на опалювальних котельнях СЦТ України почали інтенсивно впроваджуватись котли ПТВМ-50 та ПТВМ-100, а з 70-х рр. котли ПТВМ-180, ПТВМ-30 та КВ-ГМ-30, КВ-ГМ-50, КВ-ГМ-100 виробництва Бійського, Барнаульського та Дорогобужського котлобудівних заводів (табл. 2).

В м. Харкові на початку 2000-х рр. 14 котлів ПТВМ-100 та ПТВМ-180 були перемарковані на зменшення теплової потужності у зв'язку частими аваріями, обумовленими понаднормовими температурними умовами роботи металу труб конвективних поверхонь нагріву. Котли ПТВМ-50, які виявились найбільш вдалою конструкцією, продовжують активно експлуатуватись більш ніж 50 років.

Котли ПТВМ-30 та КВ-ГМ, які знаходяться в експлуатації з 70–80-х рр. минулого століття, мають задовільний стан та можуть експлуатуватись надалі, однак потребують підвищених затрат на ремонтно-профілактичні роботи.

Актуальність досліджень обумовлюється необхідністю виконання НПСВ в стислі терміни (до 2033 р.) за умов значної кількості та сумарної потужності опалювальних котельень СЦТ.

Метою досліджень є розробка сценаріїв розвитку потужних опалювальних котельень СЦТ тепловою потужністю 50 МВт і більше, які включені до НПСВ, з урахуванням сучасних екологічних вимог та визначення затрат на реалізацію цих сценаріїв.

Таблиця 2. Введення в експлуатацію котлів опалювальних котелень СЦТ, включених до НПСВ

Період, роки	1945–1950	1951–1960	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000	2001–2011	Загалом
Встановлена потужність котлів (первинна), МВт/%	424,5 (5,68)	250,05 (3,35)	3231,74 (43,25)	1569,53 (21,01)	1728,73 (23,14)	000,0 (00,00)	267,5 (3,58)	7472,05 (100)
Встановлена потужність котлів (перемаркована)*, МВт/%	424,5 (7,80)	250,05 (4,59)	2390,74 (43,91)	1127,59 (20,71)	984,41 (18,08)	000,0 (00,00)	267,5 (4,91)	5444,79 (100)
Тип котлів перемаркованих на меншу потужність			7 котлів ПТВМ-100	2 котла ПТВМ-100; 1 котел ПТВМ-180	1 котел ПТВМ-100; 3 котла ПТВМ-180			

* - станом на 2014 р.

Вихідними даними дослідження слугували: Енергетична стратегія України до 2035 р. [8]; Директива 2010/75/ЄС “Про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення)” [5]; Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок [7]; Технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт [9]; літературні джерела щодо техніко-економічних показників технологій зменшення викидів від спалювальних установок [4, 10–14].

При виборі методів та заходів зменшення викидів оксидів азоту при спалюванні природного газу насамперед надають перевагу реалізації методів з технологіями, які запобігають первинному утворенню оксидів азоту: малотоксичні пальники, ступеневе спалювання з розподіленням палива між ярусами пальників, рециркуляція ди-

мових газів та подача третинного повітря вище факела згорання палива в пальниках або комбінований метод із застосуванням 2–4 наведених технологій [15, 16].

В [14] наведено результати визначення техніко-економічних показників технологій зменшення викидів оксидів азоту від потужних опалювальних котлів типу ПТВМ-30М, ПТВМ-50, ПТВМ-100, ПТВМ-180, КВГМ-30, КВГМ-50, КВГМ-100, які спалюють природний газ, а саме питомих капітальних затрат на впровадження технологічного обладнання (на одиницю встановленої теплової потужності котла) та додаткові витрати паливно-енергетичних ресурсів (паливо та електроенергія), які супроводжують його експлуатацію, для кожної з досліджених технологій, основні з яких представлено в табл. 3.

Порівняльний аналіз питомих затрат на впровадження технологій (табл. 3) показує, що найбільші значення має використання малотоксич-

Таблиця 3. Техніко-економічні показники технологій зменшення викидів оксидів азоту від котлів типу ПТВМ та КВ-ГМ

Технологія зменшення викидів оксидів азоту NO_x	Ефективність зменшення викидів NO_x , % [4, 15]	Питомі капітальні затрати, грн/кВт теплової потужності котла	Витрати паливно-енергетичних ресурсів	
			Електроенергія, кВт·год / МВт·год теплової енергії	Паливо (газ природний), ГДж/ МВт·год теплової енергії
1. Рециркуляція димових газів	20–30	8,88–12,89	0,218–0,522	0,016–0,018
2. Подача третинного повітря	30–35	2,94–5,94	0,103–0,126	–
3. Стадійне спалювання	20–30	1,54–2,83	–	–
4. Малотоксичні пальники	20–40	152,52–261,69	2,10–3,21	–
Новий котел з комплексом технологій зменшення NO_x		707,67–895,59		

них пальників зі зниженим утворенням оксидів азоту (від 152,52 до 261,69 грн/кВт). Сучасні малотоксичні пальники мають ефективність зменшення утворення оксидів азоту до 50% внаслідок того, що в своїй конструкції реалізують стадійне спалювання [17]. Інноваційні пальники, які додатково до стадійного спалювання реалізують подачу газів рециркуляції безпосередньо в паливно-повітряну суміш мають загальну ефективність зменшення утворення більше 60% [18]. Інші технології мають суттєво менші питомі затрати на їх впровадження.

Викиди оксидів азоту при спалюванні природного газу на потужних опалювальних котлах СЦТ на поточний час складають 200–240 мг/нм³ без застосування технологій їх зменшення. Комплексне застосування розглянутих технологій зменшення викидів оксидів азоту (з сумарною ефективністю зменшення 50–60%) гарантовано забезпечить виконання вимог Директиви 2010/75/ЄС (<100 мг/нм³) на потужних опалювальних котельнях СЦТ з НПСВ. Сумарні питомі затрати на комплексне впровадження даних технологій зменшення викидів оксидів азоту становлять 165,88–283,35 грн/кВт встановленої теплової потужності котла/котельні.

Пропонуються наступні сценарії подальшого розвитку потужних опалювальних котельень СЦТ з НПСВ:

- прогресивний (технічне переоснащення шляхом заміни існуючих котлів на нові сучасні енергоефективні та екологічні);
- традиційний (повна реконструкція існуючих котлів на відповідність новим екологічним вимогам)
- консервативний (мало затратна модернізація існуючих котлів для досягнення нових екологічних вимог).

Основними завданнями традиційного та консервативного сценаріїв розвитку є досягнення на обладнанні, що експлуатується, нових, більш жорстких екологічних нормативів Директиви 2010/75/ЄС.

З метою застосування наведених сценаріїв котли потужних опалювальних котельень СЦТ, які включені до НПСВ, поділено на три умовні групи за терміном напрацювання (більше 60 років, від 40 до 60 років та менше 40 років) та сумарною тепловою потужністю встановлених котлів/котельень цих груп (рис. 1).

Прогресивний сценарій є стратегічно визначальним вирішенням проблеми зменшення викидів шкідливих речовин до атмосферного повітря від котлів потужних опалювальних котельень СЦТ з НПСВ. Прогресивний сценарій передбачає заміну технологічно застарілого та фізично зношеного існуючого котельного та до-

поміжного (пальники, тягодуттєве устаткування, контрольно-вимірювальні прилади та системи управління, тощо) обладнання на нове більш ефективне, яке відповідає сучасним екологічним вимогам Директиви 2010/75/ЄС. За умов поточного стану економіки України такий варіант сценарію розвитку СЦТ є малоймовірним, зважаючи на великі первинні капітальні затрати на таку заміну котлів потужних опалювальних котельень з НПСВ загальною тепловою потужністю більше 5,445 ГВт, які можуть становити 140–180 млн дол. США при середній питомій вартості заміни існуючих котлів 26–33 дол. США за 1 кВт встановленої теплової потужності нових котлів, а також значні терміни окупності нового обладнання, які можуть сягати до 15–20 років і більше, що обумовлено досить низьким коефіцієнтом використання встановленої потужності опалювальних котельень (~25–35%).

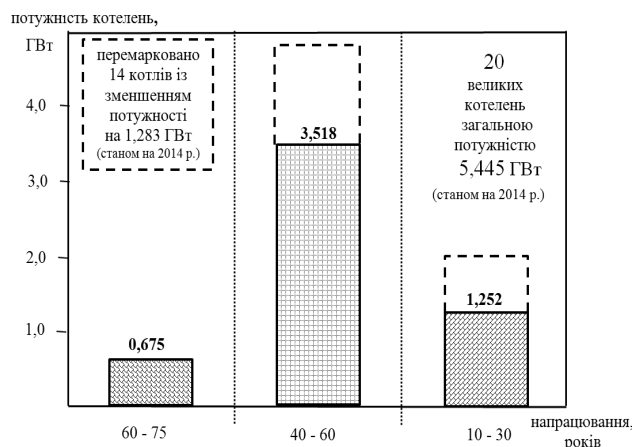


Рис. 1. Розподіл опалювальних котельень з НПСВ на сценарні групи за терміном напрацювання

Прогресивний сценарій (високозатратний – потребує 100% вартості впровадження нового котельного обладнання): технологічний розвиток відповідає рівню 2000-х рр.; енергоефективність виробництва теплової енергії не менше 94%; термін експлуатації нового обладнання складає 30–40 років; менші затрати на поточні ремонтні роботи нового обладнання (щорічно до 2% вартості впровадження нового котла); відповідність екологічним вимогам Директиви 2010/75/ЄС (викиди оксидів азоту <100 мг/нм³) досягається впровадженням мало-витратних технологій зменшення викидів оксидів азоту з обов'язковим застосуванням малотоксичних пальників та рециркуляції димових газів в топкову камеру, ступеневою подачею палива та повітря, а також конструктивних заходів: зменшене теплове напруження топкової камери, двосвітні екрани в топковій камері,

газощільні екрани топкової камери та конвективних газоходів. Перевагою прогресивного сценарію є впровадження сучасних технологій підвищення енергоефективності та зменшення викидів оксидів азоту на стадії проектування та будівництва котла. При забезпеченні підвищеної газощільності топкової камери та газоходів конвективної частини котли експлуатуються з низьким надлишком повітря (не більше 1,2), що обумовлює як зменшення втрати теплоти з відхідними димовими газами, так і зменшення утворення оксидів азоту при згоранні палива. Однак досягнення високих показників потребує значних одноразових фінансових та матеріальних витрат, які потрібно забезпечити в досить стислі терміни.

У поточних умовах стану економіки України прогресивний сценарій доцільно застосовувати насамперед для котлів, які були введені в експлуатацію до 1960 р. Недоцільно застосовувати прогресивний сценарій до котлів, які були введені в експлуатацію після 1980 р., зважаючи на достатньо великий залишковий ресурс експлуатації таких котлів.

В Україні є вітчизняні виробники, які здатні виконати заміну існуючих котлів на нові з забезпеченням відповідності екологічним вимогам Директиви 2010/75/ЄС: ТОВ «КЗ «ЕНЕРГЕТИК»» (м. Монастирище Черкаської області), ТОВ «Генерація тепла» ГК «САТЕР» (м. Київ) та енергомашинобудівельний холдінг «Котлотурбопром» (м. Харків) [19–21]. Зокрема, філією ХЦКБ «Енергопрогрес» ТОВ «Котлотурбопром» розроблено котли серії КВ-Г для заміни котлів серії ПТВМ на великих опалювальних котельнях СЦТ. Котли КВ-Г-34,9-150 та КВ-Г-58,2-150 встановлюються в осередки існуючих котлів ПТВМ-30 та ПТВМ-50, відповідно. Комплекс прийнятих рішень по модернізації котлів ПТВМ-30 та ПТВМ-50, втілених в конструкції КВ-Г-34,9-150 та КВ-Г-58,2-150, спрямований на усунення конструктивних і схемних недоліків, виявлених в процесі експлуатації обладнання, на вирішення питань підвищення надійності та економічності, розширення діапазону регулювання навантаження, скорочення ремонтних витрат і поліпшення екологічних показників, підвищення ККД котла з 89,6% (проектний заводський варіант існуючих котлів) до 93,6%, досягнення низької генерації шкідливих викидів, при збереженні габаритних розмірів промислової комірки існуючих котлів. На котельні житлового району «Позняки» м. Києва у 2018 р. введено в експлуатацію опалювальний котел КВ-Г-116,3-150 тепловою потужністю 116,3 МВт виробництва ТОВ «Котлотурбопром», викиди оксидів азоту

від якого не перевищують 100 мг/нм³ (за декларацією виробника).

Капітальні затрати на заміну фізично зношених та технологічно застарілих котлів цієї групи загальною тепловою потужністю 0,675 ГВт за умови середньої питомої вартості впровадження сучасних котлів 30\$/кВт установленної теплової потужності складуть 546,75 млн грн. (20,25 млн дол. США).

Традиційний сценарій (повна реконструкція існуючих котлів – процес оновлення застарілого існуючого об'єкта для використання його в нових умовах) є середньозатратним і потребує до 50% від вартості впровадження нового котельного обладнання (заміни існуючого котла на новий).

Традиційний сценарій передбачає реконструкцію існуючих котлоагрегатів з впровадженням екологічного обладнання; технологічний розвиток відповідає рівню 60-х рр. минулого століття; енергоефективність виробництва теплової енергії менше 90%, подовження терміну експлуатації існуючого обладнання на 15–20 років; проведення одноразових високозатратних капітальних ремонтів обладнання, яке вичерпало свій технічний ресурс та потребує значної заміни елементів котельних агрегатів; відповідність екологічним вимогам (викиди оксидів азоту не більше 100 мг/нм³) можливо досягти впровадженням мало затратних технологій зменшення викидів оксидів азоту з обов'язковим застосуванням малотоксичних пальників та рециркуляції димових газів в топкову камеру, а також, за необхідністю, подачі третинного повітря в топкову камеру і стадійного спалювання. Традиційний сценарій доцільно застосовувати до котлів всіх типів. Перевагою такого сценарію є збереження проектної потужності існуючих котлів за відповідності екологічним вимогам та менші затрати на поточні ремонтні роботи (щорічно 5–8% вартості впровадження нового котла). При забезпеченні газощільності топкової камери та газоходів конвективної частини котли експлуатуються з середнім надлишком повітря (не більше 1,3), що обумовлює зменшення втрати теплоти з відхідними димовими газами та зменшення утворення оксидів азоту при згоранні палива. При перевищенні затрат на повну реконструкцію існуючих котлів 50% від вартості впровадження нового котельного обладнання доцільно виконувати заміну існуючого котла на новий сучасний енергоефективний та екологічний [4]. Традиційний сценарій доцільно застосовувати насамперед для котлів, які були введені в експлуатацію в період з 1960 до 1980 р.

Капітальні затрати на повну реконструкцію фізично зношених та технологічно застарілих кот-

лів загальною тепловою потужністю 3,518 ГВт з НПСВ, які були введені в експлуатацію в період з 1960 до 1980 р., за умови середньої питомої вартості повної реконструкції котлів 15\$/кВт установленої теплової потужності складуть 1424,79 млн грн. (52,77 млн дол. США).

Консервативний сценарій (модернізація існуючого котельного обладнання – оновлення об'єкта, приведення його у відповідність із новими вимогами та нормами, технічними умовами, показниками якості) є малозатратний – потребує 25–30% від вартості впровадження нового котельного обладнання: технологічний розвиток консервується на рівні 80-х рр. минулого століття; енергоефективність виробництва теплової енергії менше 92%, подовження терміну експлуатації існуючого обладнання щонайменше на 10–15 років; проведення високозатратних поточних ремонтів обладнання, яке вичерпало свій технічний ресурс та потребує значної заміни елементів котельного обладнання; відповідність екологічним вимогам можливо досягти впровадженням малозатратних технологій зменшення викидів оксидів азоту, наприклад, рециркуляція димових газів в топкову камеру, подача третинного повітря в топкову камеру та стадійне спалювання. Перевагою такого сценарію є мінімальні затрати тільки на впровадження малозатратних екологічних технологій та можливість рівномірних у часі затрат на ремонтно-профілактичні роботи протягом усього подовженого терміну експлуатації, однак підвищена вірогідність аварійних випадків внаслідок фізичної зношеності елементів котлоагрегатів обумовлює високі затрати на саме ці ремонтні роботи (щорічно до 8–10% вартості впровадження нового котла). Робота котла з високим надлишком повітря (не менше 1,4) внаслідок негазоцильної конструкції існуючих котлів, що обумовлює високі втрати теплоти з відхідними димовими газами. *Довідково:* сучасні газові котли працюють з надлишком повітря менше 1,15, що запобігає інтенсивному утворенню оксидів азоту та забезпечує високу енергоефективність до 95–96%. Недоліком консервативного сценарію є подовження терміну експлуатації низькоефективних існуючих котлоагрегатів, значні затрати на поточні ремонти та зменшення номінальної потужності котлів.

Застосування консервативного сценарію, як малозатратного для досягнення екологічних вимог Директиви 2010/75/ЄС, можливе для всіх котлів, які включені до НПСВ, що буде коштувати 1470,15 млн грн. (54,45 млн дол. США). Однак розвиток цієї галузі буде законсервовано станом на 1960–1980 рр. з відповідною низькою енергоефективністю.

Консервативний сценарій доцільно застосувати насамперед для котлів, які були введені в експлуатацію в період з 1980 до 2011 р.

Капітальні затрати на модернізацію котлів загальною тепловою потужністю 1,252 ГВт з НПСВ, які були введені в експлуатацію в період з 1980 до 2014 р., за умови середньої питомої вартості модернізації існуючих котлів 10\$/кВт установленої теплової потужності складуть 338,04 млн грн. (12,52 млн дол. США).

Перемаркування – організаційний захід з мінімальними затратами до 10000 дол. США на один котел/котельню. Фахівцями Інституту газу НАН України [4] запропоновано план дій з приведення до вимог Директив ЄС щодо шкідливих викидів в атмосферне повітря існуючих котлоагрегатів на природному газі, які відпрацювали свій проектний ресурс, але мають достатній залишковий фізичний ресурс для подальшої експлуатації протягом щонайменше 15–20 років. Саме для таких котлоагрегатів рекомендується проведення перемаркування [22] на меншу теплову потужність з одночасним застосуванням малозатратних режимно-технологічних (первинних) методів зменшення викидів оксидів азоту, насамперед технології рециркуляції димових газів в топкову камеру, ступеневої подачі палива та повітря, а також, за необхідністю малотоксичних паливників. Зменшення номінальної теплової потужності існуючих котлоагрегатів призведе до зменшення теплової напруги та максимальної температури в топковій камері, що є одними з визначальних чинників впливу на інтенсивність утворення оксидів азоту при спалюванні природного газу, а застосування рециркуляції димових газів ще більш зменшить максимальні локальні температури на фронті факела при згоранні палива. Зменшення максимальних локальних температур та теплового напруження призведе також до зменшення температури металу труб топкових екранів, першого ряду труб конвективних поверхонь нагріву (по ходу димових газів), а також елементів паливникових пристроїв, внаслідок чого подовжиться їх ресурс експлуатації.

Фахівці Інституту газу НАН України звертають увагу, що для існуючих середніх спалювальних установок тепловою потужністю менше 50 МВт допускаються значно вищі рівні викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря (до 200 мг/нм³, порівняно з 100 мг/нм³ для великих спалювальних установок тепловою потужністю 50 МВт і більше). Ця обставина обумовлює доцільність перемаркування частини котлів на нову номінальну потужність з метою формального отримання нових спалювальних устано-

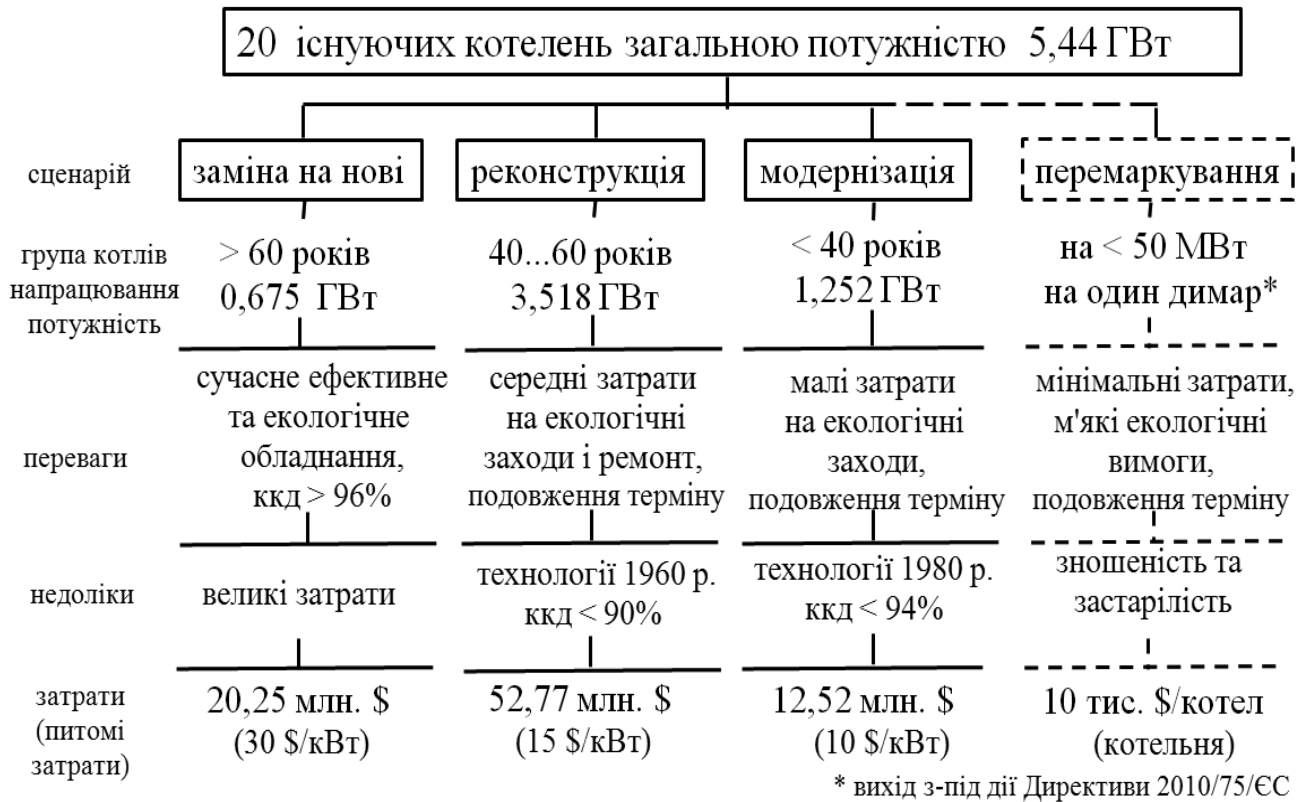


Рис. 2. Сценарії розвитку котелень СЦТ з НПСВ в умовах екологічних обмежень

вок з тепловою потужністю менше 50 МВт і таким чином вивести частину існуючих котлоагрегатів з-під дії Директиви 2010/75/ЄС. Таке перемаркування можна ефективно застосувати для котлів типу ПТВМ-50 та КВ-ГМ-50, які мають проектну номінальну потужність 58,15 МВт за теплопродуктивністю (або 64,9 МВт за вихідною тепловою потужністю енергетичного вмісту палива) та можуть бути перемарковані із зменшенням номінальної потужності на 23,7% до 38,14 МВт за теплопродуктивністю (або до 49,5 МВт за вихідною тепловою потужністю енергетичного вмісту палива), а також котлів типу ПТВМ-30М та КВ-ГМ-30 (якщо два таких котла під'єднані до одного димара).

Заходи з заміни, реконструкції або модернізації існуючих котлів необхідно узгоджувати із схемами теплопостачання перспективного розвитку міст, бо, за досвідом Польщі, внаслідок термоізоляційної модернізації зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель та зменшення тепловтрат в мережах споживання тепла СЦТ суттєво зменшилось (щонайменше в 1,5–2 рази і іноді більше) внаслідок чого теплова потужність наперед модернізованих та реконструйованих котлів опалювальних котелень СЦТ виявилась зайвою та значні фінансові затрати були марними.

На рис. 2 представлено можливі сценарії розвитку потужних опалювальних котелень СЦТ з НПСВ в умовах екологічних обмежень, їх переваги та недоліки, орієнтовні капітальні затрати.

Для опалювальних котелень, які включені до Національного плану скорочення викидів, визначені необхідні капітальні затрати для реалізації запропонованих сценаріїв розвитку. За прогресивним сценарієм капітальні затрати на заміну котлів загальною тепловою потужністю 0,675 ГВт, які були введені в експлуатацію до 1960 р., за умови середньої питомої вартості впровадження сучасних котлів 30\$/кВт установленої теплової потужності котла складуть 546,75 млн грн. (20,25 млн дол. США). За традиційним сценарієм капітальні витрати на повну реконструкцію існуючих котлів загальною тепловою потужністю 3,518 ГВт, які були введені в експлуатацію в період з 1960 до 1980 р., за умови середньої питомої вартості реконструкції існуючих котлів 15\$/кВт установленої теплової потужності складуть 1424,79 млн грн. (52,77 млн дол. США). За консервативним сценарієм капітальні затрати на модернізацію котлів загальною тепловою потужністю 1,252 ГВт, які були введені в експлуатацію в період з 1980 до 2011 р., за умови середньої питомої вартості модернізації існуючих котлів 10\$/кВт установ-

леної теплової потужності складуть 338,04 млн грн. (12,52 млн дол. США).

Загальні капітальні затрати на розвиток 20 котелень СЦТ з НПСВ сумарною тепловою потужністю 5,445 ГВт за цими сценаріями складають ~2,31 млрд грн. (85,54 млн дол. США).

ВИСНОВКИ

Викиди оксидів азоту є основними викидами забруднюючих речовин при спалюванні природного газу на потужних опалювальних котлах системи централізованого тепlopостачання України та на поточний час складають 200–240 мг/нм³ без застосування технологій їх зменшення.

При виборі методів та заходів зменшення викидів оксидів азоту при спалюванні природного газу насамперед надають перевагу реалізації малозатратних методів з технологіями, які запобігають первинному утворенню оксидів азоту: малотоксичні пальники, ступеневе спалювання з розподіленням палива між ярусами пальників, рециркуляція димових газів та подача третинного повітря вище факела згорання палива в пальниках або комбінований метод із застосуванням 2–4 наведених технологій.

Комплексне застосування наведених вище технологій зменшення викидів оксидів азоту (з сумарною ефективністю зменшення 50–60%) гарантовано забезпечить виконання вимог Директиви 2010/75/ЄС (концентрація оксидів азоту в відхідних димових газах <100 мг/нм³) на потужних опалювальних котельнях системи централізованого тепlopостачання України, які включені до Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок. Сумарні питомі затрати на комплексне впровадження наведених технологій зменшення викидів оксидів азоту складають від 165,88 до 283,35 грн/кВт встановленої теплової потужності котла/котельні.

З урахуванням сучасних, більш жорстких екологічних вимог Директиви 2010/75/ЄС сформовані сценарії розвитку опалювальних котелень системи централізованого тепlopостачання України, які включені до Національного плану скорочення викидів: прогресивний (технічне переоснащення шляхом заміни 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 котлоагрегатів тільки

для забезпечення відповідності новим екологічним вимогам).

Для опалювальних котелень, які включені до Національного плану скорочення викидів, визначено необхідні капітальні затрати для реалізації запропонованих сценаріїв розвитку. За прогресивним сценарієм капітальні затрати на заміну котлів загальною тепловою потужністю 0,675 ГВт, які були введені в експлуатацію до 1960 р., складуть 546,75 млн грн. (20,25 млн дол. США). За традиційним сценарієм капітальні витрати на повну реконструкцію існуючих котлів загальною тепловою потужністю 3,518 ГВт, які були введені в експлуатацію в період з 1960 до 1980 р., складуть 1424,79 млн грн. (52,77 млн дол. США). За консервативним сценарієм капітальні затрати на модернізацію котлів загальною тепловою потужністю 1,252 ГВт, які були введені в експлуатацію в період з 1980 до 2011 р., складуть 338,04 млн грн. (12,52 млн дол. США).

Загальні капітальні затрати на розвиток 20 котелень централізованого тепlopостачання України сумарною тепловою потужністю 5,445 ГВт, які включені до Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок тепловою потужністю 50МВт і більше, за цими сценаріями складають ~2,31 млрд грн. (85,54 млн дол. США).

Робота виконана за рахунок коштів бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень» (КПКВ 6541230).

1. Звіт про постачання та використання енергії в Україні за 2018 рік: форма статистичної звітності 11-МТП. Розділ 1. Джерела постачання енергії та їх потужність. К.: Державна служба статистики України, 2019.
2. Про основні показники роботи опалювальних котелень і теплових мереж в Україні: статистичний бюлетень. Відп. за випуск І.С. Петренко. К.: Державна служба статистики України, 2015. 17 с.
3. Справочник по котельным установкам малой производительности. [Под ред. К.Ф. Роддатиса]. М.: Энергоатомиздат, 1989. 488 с.
4. Сміхула А.В. та ін. Технології зниження шкідливих викидів до атмосфери тепловими електростанціями та котельними великої і середньої потужності України: монографія. К.: Маслаков, 2019. 107 с. ISBN 978-617-7777-05-1.
5. 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.
6. Про схвалення розроблених Міністерством екології та природних ресурсів планів імплементації деяких актів законодавства ЄС. Розпорядження

- Кабінету Міністрів України від 15 квітня 2015 р. № 371-р.
7. Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 року № 796-р. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245255506&cat_id=245255478// (дата звернення: 09.10.2019).
 8. Енергетична стратегія України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/605-2017-%D1%80> (дата звернення: 09.10.2019)
 9. Про затвердження технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт: Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 22.10.2008 р № 541.
 10. Thierry Lecomte et al. (2017). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants: Publications Office of the European Union. 986 p.
 11. Информационно-технический справочник по наилучшим технологиям ИТС 38-2017. Сжигание топлива на крупных установках с целью производства энергии. М.: Бюро НТД, 2017. 280 с.
 12. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації: у 2-х томах [за ред. А.А. Долінського та ін.]. К., 2007. Т. 2. С. 538–568.
 13. Сигал И.Я. Сжигание газа в котлах и защита воздушного бассейна. *Энерготехника и энергосбережение*. 2009. № 4. С. 26—35.
 14. 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.
 15. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. [Чинний від 2002.07.01]. К.: ОЕП ГРІФРЕ. 2002. 45 с.
 16. Галузева методика розрахунку шкідливих викидів, які надходять від теплоенергетичних установок комунальної теплоенергетики України: затв. наказом Мінбуду України від 16.03.2006 № 67. К.: Зодчий, 2008. URL: http://mlp.net.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=89&Itemid=30 (дата звернення: 09.10.2019)
 17. Обзор малотоксичных горелочных устройств, применяемых при модернизации котлов. *Некоммерческое партнерство «Российское теплоснабжение»*. URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=816 (дата звернення: 10.10.2019).
 18. Горелки: каталог продукции от 480 кВт до 19000 кВт. С.І.В. UNIGAS S.p.A. 2019. 310 с. URL: <http://www.cibunigas.com/ru/product-catalogs> (дата звернення: 07.10.2019).
 19. Водогрійні котли серії КВ-ГМ і ПТВМ. ТОВ «КЗ «ЕНЕРГЕТИК». URL: https://energetik.ua/catalog/vodogriyni_kotly/kotli-vodogriyni-serii-ptvm/ (дата звернення: 02.10.2019)
 20. Обладнання. Власне виробництво. ТОВ «Генерація тепла» ГК «САТЕР». URL: <https://gt-company.com.ua/price> (дата звернення: 09.10.2019)
 21. Комунальна теплоенергетика (ТЕЦ та котельні). ТОВ «КОТЛОТУРБОПРОМ». URL: <https://ktp.must-ipra.com/solutions/kommunalnaja-teploenergetika-tjes-i-k/> (дата звернення: 09.10.2019)
 22. ГКД 34.25.509-2003. Перемаркування основного енергетичного устаткування енергопідприємств Міністерства палива та енергетики України. Положення. [Чинний від 2003.01.28]. К.: ОЕП ГРІФРЕ. 2003. 29 с.

Надійшла до редколегії: 04.11.2019