

Охорона навколишнього середовища

УДК 620.9

DOI: 10.33070/etars.2.2020.07

Станиціна В.В., канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-1005-6185,

Куц Г.О., канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-1311-8361,

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

Маляренко О.Є., канд. техн. наук, ORCID 0000-0001-5882-916X

Інститут загальної енергетики НАН України, Київ

вул. Антоновича, 172, 03150 Київ, Україна, e-mail: dep2@ienergy.kiev.ua

Порівняльний аналіз середньої вартості теплової енергії, виробленої в котельнях різної потужності, з урахуванням екологічної складової

Наведено динаміку теплової потужності теплогенеруючих джерел системи централізованого теплопостачання України з аналізом структури паливного балансу опалювальних котельень для покриття потреби у тепловій енергії за 2010–2017 рр. Для визначення ефективності теплогенерації у котельнях запропоновано використовувати методику визначення середньої вартості енергоносія за життєвий цикл, яку удосконалено для теплової енергії, що виробляється у котельнях, з урахуванням витрат на роботу очисного обладнання та екологічного податку. Обраховано середню вартість теплової енергії за життєвий цикл для трьох найбільш поширених для котельних типів котлів, що працюють на природному газі, вугіллі та мазуті, а також для побутових котлів на альтернативних видах палива з урахуванням екологічної складової. Визначено доцільність подальшого розвитку котельного обладнання різних типів для потреб теплозабезпечення. *Бібл. 17, рис. 1, табл. 4.*

Ключові слова: тепла енергія, середня вартість енергоносія, життєвий цикл, очисне обладнання, викиди забруднюючих речовин, екологічний податок.

Україна має розвинуті системи централізованого та децентралізованого теплопостачання, які поступово безсистемно трансформуються зі зменшення частки централізованого теплопостачання та збільшення частки децентралізованого теплопостачання у зв'язку з фізичним зношенням та технологічною застарілістю встановлених теплогенеруючих потужностей.

Потреба у тепловій енергії забезпечується двома великими групами теплогенеруючих джерел: системою централізованого теплопостачання (СЦТ) та системами децентралізованого теп-

лопостачання (СДТ). У централізованій системі тепла енергія виробляється підприємствами різного призначення: електростанціями різного типу (ТЕС, АЕС), теплоелектроцентралями (ТЕЦ) та котельнями. Децентралізовані системи теплопостачання комплектуються з автономних та індивідуальних теплогенеруючих установок різного типу та потужності (автономні та індивідуальні опалювальні котли: газові, твердопаливні, електричні, комбіновані), теплонасосних установок різного типу, які використовують низькопотенційну теплоту зовнішнього се-

редовища (повітря, водойм, ґрунтів), електричних теплогенераторів (тепловентилятори, калорифери, масляні нагрівачі, електричні системи опалювання типу «тепла підлога»), сонячних систем гарячого водопостачання та їх комбінованих варіантів.

За період 2010–2017 рр. забезпечення попиту на теплову енергію для споживачів у системі централізованого теплопостачання країни здійснювалося від шести укрупнених типів груп теплогенеруючих джерел, серед яких найбільша частка попиту покривається опалювальними котельнями. За даними [1–4], частка опалювальних котелень у загальній потужності теплогенеруючих джерел СЦТ у 2010 р. складала 76 % (147,97 тис. МВт), у 2017 р. складала 70,5 % (98,73 тис. МВт). У цілому по СЦТ країни загальна теплова потужність теплогенеруючих джерел складала у 2010 р. 188,69 тис. МВт та у 2017 р. – 140,9 тис. МВт (табл.1).

За період 2010–2017 рр. теплова потужність котелень у фізичному обсязі знизилася на 49,24 тис. МВт. Практично кожний рік з парку котелень вибувало до 7,0 тис. МВт теплової потужності, що було обумовлено виведенням з експлуатації застарілих котлоагрегатів або їх перемаркуванням на меншу потужність. Це в основному стосується котлів та котелень середньої потужності (від 23,5 до 116,3 МВт).

За структурою паливного балансу [1–6], для опалювальних котелень СЦТ основним видом палива є природний газ, частка якого до загального обсягу складала, % (тис. т у. п.): у 2010 р. – 85,9 (13862,5), у 2015 р. – 81,4 (7412,5), у 2016 р. – 73,8 (7461,7), у 2017 р. – 77,0 (7025,4).

Частка споживання кам'яного вугілля у загальному паливному балансі котелень мало змінювалася та за зазначений період знаходилася у межах 5,7–6,3 %. Значне падіння відмічається у споживанні мазуту топкового, зниження частки

якого у 2017 р. порівняно з 2010 р. відбулося у 3,75 разів (з 148,7 до 39,7 тис. т у.п.). Відмічається зростання споживання альтернативних видів палива у 1,44 рази (від 702,7 до 982,6 тис. т у.п.).

Для порівняння ефективності різних технологій енергогенерації у світі застосовується метод оцінювання середньої вартості енергії за життєвий цикл – LCOE/LCOHC (Levelised Cost of Energy/Levelized Cost of Heat (Cold)). Цей метод є універсальним та зручним при порівняльному аналізі різнотипних технологій виробництва енергії (електричної, теплової та холоду) та застосовується багатьма авторитетними організаціями, зокрема Міжнародним енергетичним агентством. Методологія оцінки показника залежить від ступеня складності припущень (фінансових, економічних та технічних).

Показник LCOHC визначається як постійна вартість генерації 1 кВт·год теплоти, що дорівнює дисконтованим витратам, витраченим протягом усього життєвого циклу [7–9]. Основна розрахункова формула даного методу має вигляд:

$$LCOHC = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{(I_t + M_t + F_t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{H_t}{(1+r)^t}}, \quad (1)$$

де LCOHC – середня вартість теплоенергії за життєвий цикл; t – поточний вік системи з початку спорудження (індекс складових витрат); N – термін існування проекту; I_t – щорічні інвестиції; M_t – умовно постійні витрати на обслуговування та ремонт; F_t – умовно змінні (паливні) витрати; H_t – річне виробництво теплової енергії; r – дисконтна ставка (дисконт), що відображає швидкість здешевлення інвестиційного капіталу з роками.

У роботі [10] наведено результати розрахунків середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл за формулою (1) для різних теплогенеруючих джерел за цінами та тарифами 2016 р. При цьому враховано вартість будівництва та експлуатації обладнання для виробництва теплової енергії. Витрати на природоохоронну діяльність у розрахунку не враховувалися.

Постановка задачі

Україна взяла на себе низку зобов'язань щодо охорони навколишнього середовища та зменшення викидів забруднюючих речовин [11–13].

На виконання європейської Директиви 2010/75/ЄС (для установок від 50 МВт) в Україні розроблено Національний план скоро-

Таблиця 1. Теплова потужність теплогенеруючих джерел СЦТ, тис. МВт (%)

Джерела СЦТ	2010 р.	2017 р.
Конденсаційні теплоелектростанції	6,29 (3,0)	5,76 (4,14)
Атомні електростанції (АЕС)	2,98 (1,8)	2,6 (1,8)
Теплоелектроцентралі загального користування (ТЕЦ)	9,88 (5,0)	13,5 (9,64)
Теплоелектроцентралі підприємств (ТЕЦп)	18,67 (14,99)	17,90 (12,78)
Підприємства по виробництву тепла (опалювальні котельні)	147,97 (78,0)	98,73 (70,5)
Утилізаційні установки та інші теплогенератори	2,9 (2,0)	1,6 (1,14)
У цілому по СЦТ України	188,69 (100)	140,09 (100)

чення викидів, до якого увійшла низка потужних котельень. В ЄС прийнята Директива 2015/2193 про обмеження викидів деяких забруднюючих речовин в атмосферне повітря від установок для спалювання середньої потужності (Medium Combustion Plant (MCP)) [14].

Оскільки Директива MCP є доповненням до Директиви 2010/75/ЄС, українським виробникам теплової енергії доведеться готуватися відповідати цим нормативам. Враховуючи постійне зростання екологічних вимог до спалювальних установок та зростання ставок екологічного податку, є необхідним врахування екологічного фактору при визначенні середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл для теплогенеруючих джерел, які є перспективними для будівництва в Україні.

Для цього у показнику LCOH необхідно врахувати, окрім інших загальновідомих складових, такі:

- вартість очисного обладнання, яке має забезпечити виконання екологічних нормативів (електрофільтри, рукавні фільтри, циклони, обладнання для зменшення викидів оксидів сірки та азоту тощо);

- вартість експлуатації очисного обладнання (електроенергія, хімічні реактиви, знешкодження вловлених забруднюючих речовин тощо);

- екологічний податок, що сплачують усі суб'єкти господарювання, які викидають забруднюючі речовини в атмосферу, скидають їх у водні об'єкти, розміщують відходи.

Алгоритм вирішення задачі

Для врахування витрат, пов'язаних із заходами для охорони навколишнього середовища, середню вартість теплової енергії за життєвий цикл з урахуванням екологічної складової пропонується обраховувати за виразом:

$$\text{LCOH} = \frac{\sum_{t=1}^N I_t + M_t + F_t}{\sum_{t=1}^N \frac{Q_t}{(1+r)^t}} + \frac{\sum_{t=1}^N \frac{\sum_{i=1}^n (I_{ti}^{\text{eko}} + M_{ti}^{\text{eko}} + F_{ti}^{\text{eko}})}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{Q_t}{(1+r)^t}} + \frac{\sum_{t=1}^N \frac{T_t^{\text{eko}}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{Q_t}{(1+r)^t}}, \quad (2)$$

де Q_t – обсяг теплової енергії; I_{ti}^{eko} – щорічні інвестиції у природоохоронні технології; i –

вид природоохоронної технології; n – кількість природоохоронних технологій у рік t , що впроваджені у котельні; M_{ti}^{eko} – умовно-постійні витрати на обслуговування та ремонт природоохоронного обладнання; F_{ti}^{eko} – умовно-змінні витрати на ресурси, що витрачаються на природоохоронну діяльність: енергоресурси, вода, реагенти тощо; T_t^{eko} – екологічний податок.

Методика для визначення енергетичних витрат на роботу очисного обладнання та приклади їх обрахунку наведені в [15–17].

Для виконання взятих Україною екологічних зобов'язань у котельнях великої потужності (понад 50 МВт) необхідне встановлення обладнання для зменшення концентрації забруднюючих речовин у димових газах, що вплине на собівартість теплової енергії.

Для визначення внеску кожного виду витрат (капітальні, умовно-постійні та умовно-змінні витрати на впровадження, експлуатацію та обслуговування природоохоронного обладнання) у показник LCOH вводиться вираз:

$$\text{LCOH}_{\text{eko}} = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{\sum_{i=1}^n I_{ti}^{\text{eko}}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{Q_t}{(1+r)^t}} + \frac{\sum_{t=1}^N \frac{\sum_{i=1}^n M_{ti}^{\text{eko}}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{Q_t}{(1+r)^t}} + \frac{\sum_{t=1}^N \frac{\sum_{i=1}^n F_{ti}^{\text{eko}}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{Q_t}{(1+r)^t}}, \quad (3)$$

Складові формули (3) відповідають позначенням до формул (1) та (2).

До переліку котлів, що вибрані для обчислення середньої вартості виробництва теплової енергії за життєвий цикл, було включено котлоагрегати, які найбільш поширені в опалювальних котельнях СЦТ, та побутові котли, що працюють на природному газі, кам'яному вугіллі та альтернативних видах палива (деревна тріска та деревні пелети). Окремо обрахована екологічна складова (податки) за умови відсутності очисного обладнання та ставки екологічного податку станом на кінець 2019 р.

Результати розрахунків середньої вартості теплової енергії, виробленої зазначеними котлами, наведено у табл.2. Розрахунок середньої вартості теплової енергії проведений за умови, що приведені витрати на реалізацію проекту покриваються протягом одного року при нуль

Таблиця 2. Середня вартість теплової енергії за життєвий цикл, виробленої опалювальними котлоагрегатами при різних ставках дисконту, грн/Гкал

Котлоагрегат	Паливо	Дисконт 0 %		Дисконт 5 %		Дисконт 10 %		Паливна складова LCOH	Екологічний податок у LCOH*
		20 років	30 років	20 років	30 років	20 років	30 років		
KB-ГМ-4-150	природний газ	1037,6	1039,5	1041,3	1043,0	1047,3	1046,0	1010,9	3,33
KB-ГМ-4-150	мазут паливний	1282,1	1280,6	1284,9	1283,5	1288,3	1287,2	1246,8	9,93
KB-ТС-4	вугілля кам'яне енергетичне	729,2	726,0	734,9	732,0	742,0	739,8	654,1	36,75
KB-ГМ-50-150	природний газ	1020,9	1018,4	1025,4	1023,1	1031,0	1029,3	995,3	3,38
KB-ГМ-50-150	мазут паливний	1240,1	1237,5	1245,0	1242,5	1250,9	1249,1	1205,9	9,85
KB-ТС-20	вугілля кам'яне енергетичне	732,8	729,6	738,6	735,7	745,7	743,6	664,2	37,31
KV-0,25	природний газ	1067,7	1059,2	1083,3	1075,5	1102,5	1096,6	1031,8	3,40
KV-2,0	природний газ	1063,5	1056,1	1076,9	1070,2	1093,5	1088,4	1031,8	3,40
Котли:									
BRS-50BMT-WM	вугілля кам'яне енергетичне	760,2	744,7	788,4	774,2	823,1	812,5	669,6	37,62
FRS-TERMI-150	вугілля кам'яне енергетичне	763,1	748,1	790,4	776,7	824,0	813,8	669,6	37,62
побутовий, 0,2 МВт	деревна тріска	488,6	478,5	507,0	497,8	529,6	522,7	450,6	Нд
побутовий, 1,3 МВт	деревна тріска	456,4	450,8	466,4	461,4	478,9	475,1	434,7	Нд
побутовий, 0,2 МВт	пелети деревні	720,5	712,4	735,1	727,8	753,2	747,7	689,6	Нд
побутовий, 1,3 МВт	пелети деревні	708,3	703,6	716,9	712,6	727,4	724,2	689,6	Нд

* Без впровадження технологій для зменшення викидів забруднюючих речовин.

вій нормі дисконту, та враховано екологічний податок за викиди.

Виконані розрахунки показують, що найменшою є середня вартість теплової енергії у побутових котлів на деревній трісці (456,4–529,6 грн/Гкал). Для побутових котлів на деревних пелетах середня вартість теплової енергії (708,3–753,2 грн/Гкал) співставна із цим показником для вугільних котлів потужністю 20–150 МВт (732,8–824,0 грн/Гкал). Найбільш вартісною є теплова енергія від котлів на мазуті (1237,5–1288,3 грн/Гкал) та природному газі (1018,4–1093,5 грн/Гкал). За результатами розрахунків встановлено, що середня вартість теплової енергії визначається вартістю спожитого виду палива, частка якого складає 81–97 %. Вплив ставки дисконту на оцінку середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл

для котельних виявився незначним (збільшення показника на 0,5–1,9 %). Більший вплив він має на вартість теплової енергії для побутових котлів. Вплив терміну експлуатації (20 або 30 років) виявився незначним – 2–5 грн/Гкал. Складова екологічного податку у показнику LCOH (без впровадження природоохоронних заходів) є найбільшою для котлів на вугіллі – 36–37 грн/Гкал; для мазутних вона складає 10 грн/Гкал, для газових – 3 грн/Гкал.

Екологічна складова у середній вартості теплової енергії за впровадження природоохоронних технологій

Розрахунок екологічної складової (витрати на природоохоронне обладнання) середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл за формуюлю (3) проведено для таких типів котлоагрегатів: KB-ТС-20, який спалює вугілля; KB-ГМ-50, – природний газ та мазут (для кожного виду палива окремо).

Прийнято, що для досягнення вимог Директиви 2010/75/ЄС використовуються такі обладнання та технології:

– для котла типу KB-ТС-20, який спалює вугілля, – циклоні та рукавні фільтри для очищення від твердих частинок, спрощене мокре-сухе очищення від SO₂, а також

Таблиця 3. Витрати за технологіями зменшення викидів забруднюючих речовин за типом котла, тепловою потужністю та видом палива

Витрати	KB-ТС-20 ¹	KB-ГМ-50-150 ²	KB-ГМ-50-150 ³
Загальні капітальні, млн грн	10,1	14,2	29,9
Питомі капітальні, грн/кВт	433,4	244,7	514,7
Умовно-постійні, млн грн/рік	0,975	1,255	2,826
Питомі умовно-постійні, (грн/кВт)/рік	41,9	21,6	48,6
Умовно-змінні, млн грн/рік	0,441	2,731	4,465
Питомі умовно-змінні, (грн/кВт)/рік	189,8	46,9	76,7

Примітки. ¹ – Теплова потужність 23,26 МВт, вугілля кам'яне; ² – 58,2 МВт, природний газ; ³ – 58,2 МВт, мазут.

рециркуляція димових газів, впорскування води у топку та подача третинного повітря для зменшення викидів оксидів азоту;

– для котла КВ-ГМ-50-150, який спалює природний газ, – рециркуляція димових газів, стадійне спалювання, подача третинного повітря та малотоксичні пальники для зменшення викидів оксидів азоту;

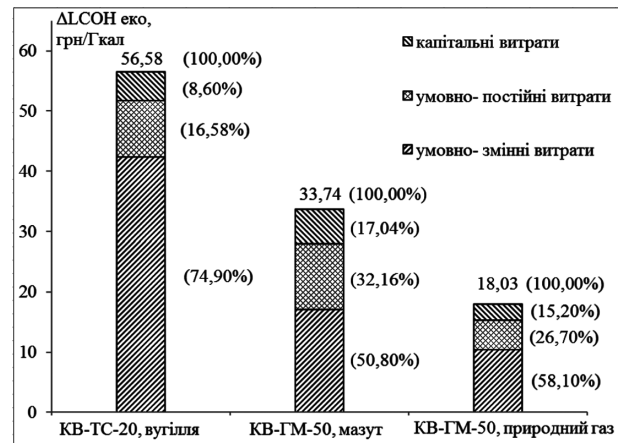
– для котла типу КВ-ГМ-50-150, який спалює мазут, – рециркуляція димових газів, стадійне спалювання, подача третинного повітря та малотоксичні пальники для зменшення викидів оксидів азоту, а також рукавні фільтри для очищення від твердих частинок.

Розрахунок зазначеної складової показника LCON для обраних котлів виконаний за такими припущеннями: протягом терміну експлуатації котлоагрегати щорічно виробляють однаковий обсяг теплової енергії Q_t , дисконтна ставка $r = 0$. Ціни на паливо, електроенергію та витратні матеріали, а також умовно-постійні витрати, зокрема, ремонтно-профілактичне обслуговування очисного обладнання, є зафіксованими станом на 2019 р. та застосовуються незмінними впродовж усього терміну експлуатації очисного обладнання, який прийнято 20 років.

Суттєвими є загальні капітальні витрати на впровадження технологій зменшення викидів забруднюючих речовин від 10 до 30 млн грн, а також річні умовно-постійні та умовно-змінні витрати на їх експлуатацію від 1,4 до 7,3 млн грн/рік (табл.3).

Структура екологічної складової (на природоохоронне обладнання) середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл для обраних типів котлоагрегатів практично однакова (рисунк): найбільша частина витрат визначається умовно-змінними витратами (50–70 %), найменша частина обумовлена капітальними витратами на впровадження очисного обладнання (8–17 %); умовно-постійні витрати (16–32 %) є проміжною частиною у структурі за «вагою».

Співставлення отриманих результатів розрахунку екологічної складової (на природоохоронне обладнання) середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл для обраних типів котлів демонструє її найбільше значення для вугільного котла



Структура екологічної складової (на природоохоронне обладнання) середньої вартості теплової енергії для котлів СЦТ, що працюють на різних видах палива.

(56,58 грн/Гкал), найменше для газового котла (18,03 грн/Гкал) та середнє для мазутного котла (33,74 грн/Гкал). Така ситуація пояснюється застосуванням маловитратних технологій зменшення викидів оксидів азоту для котлів, які спалюють природний газ та мазут, для яких оксиди азоту є основними забруднюючими речовинами у відхідних димових газах.

Для мазутних котлів додатково необхідне очищення від малодисперсних твердих частинок (сажа від недопалу та зола) із застосуванням високовартісних рукавних фільтрів.

Для вугільного котла основними забруднюючими речовинами є оксиди азоту, тверді частинки та діоксид сірки. Впровадження та експлуатація очисного обладнання від цих забруднюючих речовин потребує більш значних витрат разом із технологічним обладнанням для зменшення викидів оксидів азоту. Зокрема, енерговитратною технологією зменшення викидів оксидів азоту є впорскування води у топкову камеру разом з вугіллям при використанні водо-вугільної суспензії, яке забезпечує зменшення викидів оксидів азоту на 30–50 %. Однак при застосуванні цієї технології зменшується ККД котла на 3–5 % внаслідок зростання втрат з теплотою водяної пари у від-

Таблиця 4. Середня вартість теплової енергії за життєвий цикл з урахуванням екологічної складової, грн/Гкал

Тип котла, теплова потужність, паливо	LCON без екологічної складової	Екологічна складова			LCON з екологічною складовою	Частка екологічної складової у LCON
		екологічний податок	очисне обладнання	сумарна		
KB-TC-20, 23,26 МВт, вугілля кам'яне	732,8	37,31	56,58	93,89	826,69	0,128
KB-GM-50-150, 58,2 МВт, природний газ	1020,9	3,38	18,03	21,41	1042,31	0,021
KB-GM-50-150, 58,2 МВт, мазут	1240,1	9,85	33,74	43,59	1283,69	0,035

хідних димових газах, що обумовлює необхідність споживання додаткового (компенсуючого) палива для виробництва однакового обсягу теплової енергії.

Таким чином, найбільшою є екологічна складова для котлів СЦТ, що працюють на вугіллі, грн/Гкал: внесок екологічного податку – 37; витрати на очисне обладнання – 57. Для котла, що працює на мазуті, ця складова відповідно становить 10 та 34 грн/Гкал; для котла, що працює на природному газі, – 3 та 18 грн/Гкал (табл.4). Проте навіть за величини екологічної складової 94 грн/Гкал тепла енергія, вироблена котлами, що працюють на вугіллі, є дешевшою, ніж вироблена котлами на природному газі, в яких найменша екологічна складова становить 21 грн/Гкал.

Висновки

Удосконалено методикау визначення показника середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл, яка відрізняється від попередньої врахуванням енергетичних та економічних показників природоохоронних технологій та екологічного податку.

За удосконаленою методикою обраховано середню вартість теплової енергії, виробленої на котлах різного типу, що працюють на різних видах палива; визначено вплив на вартість теплової енергії величини дисконту та екологічного податку. За результатами розрахунків встановлено, що середня вартість теплової енергії визначається вартістю спожитого виду палива, частка якого складає 81–97 %. Найбільша вартість теплової енергії відноситься до котлоагрегатів, які споживають мазут та природний газ, значно меншою є вартість теплової енергії, виробленої вугільними котлами та котлами, що працюють на біомасі. Вплив ставки дисконту на оцінку середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл для котельних виявився незначним.

Виконано оцінку екологічної складової показника середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл для трьох котлів, що працюють на природному газі й мазуті (окремо кожний) та вугіллі, при впровадженні технологій зі зниження викидів оксидів азоту, діоксиду сірки та твердих частинок. Виявлено, що найбільшу екологічну складову у середній вартості теплової енергії мають вугільні котли, меншу – котли на природному газі й мазуті. За існуючих ставок екологічного податку відсутні економічні стимули для впровадження технологій щодо зменшення концентрації забруднюючих речовин у викидах, адже внесок екологічного податку у

середню вартість теплової енергії у 1,5–5,3 разів менший, ніж вартість установки та експлуатації природоохоронного обладнання.

Список літератури

1. Звіт про постачання та використання енергії за 2010 р. Форма № 11-МТП (річна) / Держстат України. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Звіт про постачання та використання енергії за 2015 р. Форма № 11-МТП (річна) / Держстат України. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
3. Звіт про постачання та використання енергії за 2016 р. Форма № 11-МТП (річна) / Держстат України. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
4. Звіт про постачання та використання енергії за 2017 р. Форма № 11-МТП (річна) / Держстат України. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
5. Про основні показники роботи опалювальних котельень і теплових мереж в Україні. Статистичний бюлетень за 2014 рік. Київ : Держ. служба статистики України. 2015. 17 с.
6. Куц Г.О., Маляренко О.Є., Станиціна В.В., Богославська О.Ю. Оцінка стану та прогноз структури споживання палива та енергії для систем теплопостачання України з урахуванням регіональних особливостей. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. № 4. С. 23–32. URL: http://pge.org.ua/index.php?option=com_docman&task=art_list&mid=20174&gid=51&lang=ua
7. Baez M.J., Larriba Martnez T. Technical Report on the Elaboration of a Cost Estimation Methodology. Creara, Madrid, Spain. 2015. No. D.3.1.
8. Projected Costs of Generating Electricity. International Energy Agency (IEA). 2010. 218 p.
9. Gabbriellini R., Castrataro P., Del Medico F., Di Palo M., Lenzo B. Levelized cost of heat for linear Fresnel concentrated solar systems. *Energy Procedia*. 2014. Vol. 49. P. 1340–1349.
10. Куц Г.О., Станиціна В.В., Коберник В.С. Порівняльна оцінка вартості теплової енергії від діючих та прогнозованих теплогенеруючих джерел для систем теплозабезпечення країни. *Проблеми загальної енергетики*. 2016. № 3. С. 12–18. doi: 10.15407/pge2016.03.012/
11. Закон України «Про ратифікацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони» від 16 вересня 2014 року № 1678-VII. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
12. Закон України «Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства» від 15.12.2010 № 2787-VI. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2787-17>.
13. Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 року №796-р. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2787-17>.
14. 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. — <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT?uri=CELEX%3A32015L2193>.
15. Станиціна В.В. Енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища як складова повної енергоємності продукції. *Проблеми загальної енергетики*. 2011. Вип. 4. С. 47–52. — Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2011_4_11.
 16. Станиціна В.В. Врахування екологічних витрат при визначенні показників енергетичної ефективності та потенціалів енергозбереження в галузях та регіонах. *Проблеми загальної енергетики*. 2012. Вип. 1. С. 62–68. — Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PZE_2012_1_12/
 17. Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики / За ред. А.О. Запорожця, Т.Р. Білан. Київ : Інститут загальної енергетики НАН України, 2017. 312 с.

Надійшла до редакції 13.02.20

Станиціна В.В., канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-1005-6185,
Куц Г.О., канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-1311-8361, **Тесленко О.И.**,
 канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-3772-5991, **Малярєнко Е.Е.**,
 канд. техн. наук, ORCID 0000-0001-5882-916X

Сравнительный анализ средней стоимости тепловой энергии, выработанной в котельных разной мощности, с учетом экологической составляющей

Представлена динамика тепловой мощности теплогенерирующих источников системы централизованного теплоснабжения Украины с анализом структуры топливного баланса отопительных котельных для покрытия потребности в тепловой энергии за 2010–2017 гг. Для определения эффективности теплогенерации в котельных предложено использовать методику определения средней стоимости энергоносителя за жизненный цикл, усовершенствованную для тепловой энергии, вырабатываемой в котельных, с учетом затрат на работу очистного оборудования и экологического налога. Рассчитана средняя стоимость тепловой энергии за жизненный цикл для трех наиболее распространенных для котельных типов котлов, работающих на природном газе, угле и мазуте, а также для бытовых котлов на альтернативных видах топлива с учетом экологической составляющей. Определена целесообразность дальнейшего развития котельного оборудования различных типов для нужд теплоснабжения. *Библ. 17, рис. 1, табл. 4.*

Ключевые слова: тепловая энергия, средняя стоимость энергоносителя, жизненный цикл, очистное оборудование, выбросы загрязняющих веществ, экологический налог.

Stanytsina V.V., Candidate of Thechnical Sciences, ORCID 0000-0002-1005-6185,
Kuts G.O., Candidate of Thechnical Sciences, ORCID 0000-0002-1311-8361,
Teslenko O.I., Candidate of Thechnical Sciences, ORCID 0000-0002-3772-5991,
Malyarenko O.Ye., Candidate of Thechnical Sciences, ORCID 0000-0001-5882-916X
The Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
 172. Antonovich Str., 03150 Kyiv, Ukraine, e-mail: dep2@ienery.kiev.ua

Comparative Analysis of the Average Cost of Heat Energy Produced in Boilers of Different Power, Taking into Account the Environmental Component

The article deals with the dynamics of thermal power of heat generating sources of the district heating system with the analysis of the structure of the fuel balance of heating boilers to cover the need for heat energy for 2010–2017. To determine the efficiency of heat genera-

tion in boiler rooms, it is proposed to use a technique for determining the average cost of energy for the life cycle cost of energy for the life cycle, which has been improved for the thermal energy produced in boiler rooms, taking into account the costs of operation of treatment equipment and environmental tax. The average cost of life cycle energy for the three most common types of boilers operating on natural gas, coal and fuel oil, as well as domestic – on alternative fuels has been calculated, taking into account the environmental component. The expediency of further development of boiler equipment of different type for the needs of heat supply has been determined. *Ref. 17, Fig. 1, Tab. 4.*

Keywords: thermal energy, average cost of energy, life cycle, cleaning equipment, pollutant emissions, environmental tax.

References

- [Report on energy supply and use. Form 11-mtp. The State Statistics Service of Ukraine]. Kyiv. – Access mode: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (2010). (Ukr.)
- [Report on energy supply and use. Form 11-mtp. The State Statistics Service of Ukraine]. Kyiv. – Access mode: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (2015). (Ukr.)
- [Report on energy supply and use. Form 11-mtp. The State Statistics Service of Ukraine]. Kyiv. – Access mode: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (2016). (Ukr.)
- [Report on energy supply and use. Form 11-mtp. The State Statistics Service of Ukraine]. Kyiv. – Access mode: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (2017). (Ukr.)
- [About the main indicators of the operation of heating boilers and thermal networks in Ukraine. Statistical bulletin for 2014]. Kyiv : The State Statistics Service of Ukraine. 2015. 17 p. (Ukr.)
- Kuts G.O., Malyarenko O.Ye., Stanytsina V.V., Bogoslavskaya, O.Yu. [Estimation of the state and forecast of structure of the consumption of fuel and energy for heat supply systems of Ukraine with regard for regional peculiarities]. *Problemy Sagalnoyi Energetyky. [Problems of General Energy]*, No. 4, pp. 23–32. (2017). (Ukr.)
- Baez M.J., Larriba Martnez, T. Technical Report on the Elaboration of a Cost Estimation Methodology. Creara, Madrid, Spain. D.3.1. (2015).
- Projected Costs of Generating Electricity. International Energy Agency (IEA). 218 p. (2010).
- Gabbrielli R., Castrataro P., Del Medico F., Di Palo M., Lenzo B. Levelized cost of heat for linear Fresnel concentrated solar systems. *Energy Procedia*. 49, 1340–1349 (2014).
- Kuts G.O., Stanytsina V.V., Kobernik V.S. [Comparative estimate of the cost of thermal energy from the operating and projected heat-generating sources for the systems of heat supply of Ukraine]. *Problemy Sagalnoyi Energetyky. [Problems of General Energy]*, 2016. No. 3. pp. 12–18. doi:10.15407/pge2016.03.012. (Ukr.)
- [Law of Ukraine «On Ratification of the Association Agreement between Ukraine, of the one part, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, of the other part» of 16.09.2014 No. 1678–VII]. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1678-18/> (Ukr.)
- [Law of Ukraine «On Ratification of the Protocol on the Accession of Ukraine to the Treaty Establishing the Energy Community» of 15.12.2010 No. 2787–VI]. – [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2787-17.](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2787-17/) (Ukr.)
- [National Emission Reduction Plan for Large Combustion Plants. Ordinance of the Cabinet of Ministers of Ukraine of November 8, 2017. No. 796-p]. – [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2787-17.](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2787-17)
- 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. – <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32015L2193>
- Stanytsina V.V. [Energy consumption of measures on the environment protection as a component of the total energy consumption of production]. *Problemy Sagalnoyi Energetyky. [Problems of General Energy]*, 2011. Iss. 4, pp. 47–52. – [http://pge.org.ua/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=88&lang=en.](http://pge.org.ua/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=88&lang=en)
- Stanytsina V.V. [Accounting for environmental costs in determining the energy efficiency indices and the energy saving potentials in branches and regions]. *Problemy Sagalnoyi Energetyky. [Problems of General Energy]*. 2012. Iss. 1. pp. 62–68. – http://pge.org.ua/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=80&lang=en (Ukr.)
- Teoretychni ta prykladni osnovy ekonomichnogo, ekologichnogo ta texnologichnogo funkcionuvannya ob'yektiv energetyky. [Theoretical and applied bases of economic, ecological and technological functioning of energy object]. Ed. A.O. Zaporozhec, T.R. Bilan. Kyiv : Institute of General Energy NAS of Ukraine, 2017. 312 p. (Ukr.)

Received February 13, 2020