

2. Грибы и грибоводство / Авт.-сост. П.А. Сычѳв, Н.П. Ткаченко; Под общ.ред. П.А. Сычѳва. Донецк. «Издательство Сталкер», 2003. 512 с.
3. Карпов Ф.Ф., Тименков Б.М. Использование диаграммы Мольтера при культивировании вешенки в теплое время года. *Школа грибоводства*. № 2. С. 26–28.
4. Голуб Г.А. Мікроклімат споруд для вирощування грибів. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 10. С. 46–49.
5. Szudyga K. Uprawa pieczarek latem. *Biuletyn «Pieczarki»*. 1995. No. 2. P. 11–15.
6. Entwicklung eines Verfahrens zur energiewirtschaftlichen CO₂ – Oudnung von Gewachshausern durch Blogasverbrennung. Meissen, 1987. 114 p.
7. Строй А.Ф. Теплоснабжение и вентиляция сельскохозяйственных зданий и сооружений : Учеб. пособие для вузов. Киев : Вища шк., 1983. 215 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-172-5-15>

СЕРЕДНЬОЗВАЖЕНА СОБІВАРТІСТЬ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ КОМБІНОВАНИХ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ СИСТЕМ

Тесленко О. І.

*кандидат технічних наук,
провідний науковий співробітник відділу ефективності
енерговикористання та оптимізації енергоспоживання
Інститут загальної енергетики
Національної академії наук України
м. Київ, Україна*

Широке впровадження інноваційних технологій виробництва теплової енергії в існуючі системи тепlopостачання України, особливо в централізовані системи, повинно проводитись з врахуванням наявності сформованої за багато попередніх років та сталої широкої мережі газових котелень. Ця обставина обумовлює напрям забезпечення надійності тепlopостачання в умовах трансформаційного низько-вуглецевого переходу із застосуванням комбінованих (гібридних)

котельень, що використовують кілька типів обладнання генерації теплової енергії, як сучасних інноваційних, так і традиційних технологій.

В такій конфігурації комбінованої котельні високо капіталоемне теплогенеруюче устаткування, що, наприклад, використовує біопаливні котли або теплові насоси, для зменшення термінів повернення інвестицій повинно експлуатуватись з максимально можливими коефіцієнтом використання встановленої теплової потужності та максимальними обсягами виробітку теплової енергії. Менш капіталоемне теплогенеруюче устаткування, наприклад, газові водогрійні котли, які використовують високовартісний природний газ, повинно експлуатуватись тільки в піково-резервних режимах з мінімальними змінними операційними витратами (з низьким коефіцієнтом використання встановленої потужності і, як наслідок, мінімальним споживанням високовартісного вичопного палива).

В [1, с. 45] запропоновано в якості цільової функції оптимізації використовувати модель середньозважених річних витрат на будівництво і експлуатацію комбінованої котельні: приведені витрати (Π) є сумою частки капіталовкладень (K_B), яку визначають коефіцієнти ефективності (E_n) і амортизації (f), і наступних експлуатаційних витрат (E_B).

$$\Pi = K_B \cdot (E_n + f) + E_B \Rightarrow \min.$$

Дослідження такої функції оптимізації на екстремум надає можливість отримати залежність для визначення задовільної частки відносної потужності інноваційного обладнання, наприклад, біопаливного котла, у комбінованій котельні при інших постійних показниках щодо виробітку теплової енергії.

У розвиток запропонованого підходу розрахункова формула *LCOE* (англ. – *Levelized Cost of Electricity*) [2, с. 137] була модифікована для визначення середньозваженої собівартості виробництва теплової енергії за життєвий цикл $LCOH_{ком}$ (англ. – *Levelized Cost of Heat*) комбінованою (гібридною) теплогенеруючою системою (наприклад, котельнею), яка складається з кількох теплогенеруючих установок різного технологічного типу і теплової потужності:

$$LCOH_{ком} = \frac{\sum_{t=1}^{T_{ком}} \frac{\sum_{k=1}^K (I_{t,k}) + \sum_{k=1}^K (M_{t,k} + F_{t,k})}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{T_{ком}} \frac{\sum_{k=1}^K H_{t,k}}{(1+r)^t}}$$

де t , $T_{ком}$ – поточний рік та загальний термін життєвого циклу комбінованої котельні з врахуванням терміну будівництва котельні (індекс складових витрат); k , K – тип та загальна кількість технологій генерації теплоенергії, які використовуються в комбінованій котельні; $H_{t,k}$ – річний виробіток теплоенергії за технологією типу k в поточному році t ; $I_{t,k}$ – інвестиційні (капітальні) витрати за технологією типу k в поточному році t ; $M_{t,k}$ – умовно постійні витрати на обслуговування та ремонт теплогенеруючого обладнання за технологією типу k в поточному році t (не залежать від обсягу виробітку теплової енергії $H_{t,k}$ та визначаються встановленою тепловою потужністю N_k); $F_{t,k}$ – змінні витрати на ресурси (паливо, електроенергію, воду, матеріали), податкові збори за викиди забруднюючих речовин тощо за технологією типу k в поточному році t (визначаються річним обсягом виробітку теплової енергії $H_{t,k}$); r – дисконтна ставка (дисконт), що відображає швидкість здешевлення інвестиційного капіталу з роками протягом життєвого циклу котельні.

Об'єктом апробації модифікованої розрахункової формули була визначена комбінована водогрійна котельня загальною встановленою тепловою потужністю 13,92 Гкал/год (16,00 МВт) у складі водогрійних котлів на традиційному органічному паливі (природному газі) та водогрійних твердопаливних котлів на біомасі (тріска деревини).

В табл. 1 наведені вихідні дані для визначення $LCOH_{ком}$ даної комбінованої котельні для умов її експлуатації в двох режимах: постачання гарячої води та обігріву помешкань будівель та споруд.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунків $LCOH_{ком}$ комбінованої котельні

№	Найменування показника	Позначення	Одиниця вимірювання	Газовий котел	Біопаливний котел
1	Технічні та виробничі показники				
1.1	Загальна теплова потужність котельні	$N_{ком}$	Гкал/год (МВт)	13,92 (16,00)	

Продовження таблиці 1

№	Найменування показника	Позначення	Одиниця вимірювання	Газовий котел	Біопаливний котел
1	Технічні та виробничі показники				
1.2	Теплова потужність для опалення	Ноп	Гкал/год (МВт)	10,12 (11,63)	за потребами споживача
1.3	Теплова потужність для гарячого водопостачання	Нгв	Гкал/год (МВт)	2,53 (2,91)	$0,2 \cdot (N_{оп} + N_{гв})$
1.4	Теплова потужність для резервування	Нрз	Гкал/год (МВт)	1,10 (1,46)	$0,1 \cdot (N_{оп} + N_{гв})$
1.5	Співвідношення потужності біокотла до загальної потужності котельні	$N_{бк} / N_{ком}$	-	0,0 – 1,0 з інтервалом 0,1	
1.6	Річний виробіток теплової енергії на обігрів	Qоп	Гкал/рік	18167	За графіком Россандера [3]
1.7	Річний виробіток теплової енергії на гаряче водопостачання	Qгв	Гкал/рік	21900	$N_{оп} \times 8760$ год/рік
1.8	Річний загальний виробіток теплової енергії	Qзаг	Гкал/рік	40067	$Q_{оп} + Q_{гв}$
1.9	Коефіцієнт корисної дії газового та біопаливного котлів	ККД гк, ККД бк	%	93	86
1.10	Теплотворна здатність палива (природного газу, тріски деревини)	$Q_{н^p}$ пг, $Q_{н^p}$ гд,	ккал/м ³ , ккал/кг	8050	2600
1.11	Споживання електроенергії (разом з екологозахисним обладнанням)	Се/е	кВт·год/Гкал	8	36
2	Технічні та виробничі показники				
2	Економічні показники				
2.1	Питомі капітальні витрати, враховуючи основне та допоміжне обладнання, проектні, монтажні та налагоджувальні роботи	КВгк ^{спт} , КВбк ^{спт}	\$/кВт	45	175

Закінчення таблиці 1

№	Найменування показника	Позначення	Одиниця вимірювання	Газовий котел	Біопаливний котел
2.2	Термін будівництва	Т буд	рік	1	1
2.3	Термін експлуатації	Т екс	рік	20	20
2.4	Витрати на ремонтно-профілактичне обслуговування (відсоток від капітальних витрат)	Рем	%	5	5
2.5	Адміністративні витрати, разом з фондом оплати праці (враховуючи збори та відрахування)	Ад	%	1	3
2.6	Робочі дні гарячого водопостачання (ГВП) на рік	Др гвп	днів	360	ГВП (5 днів на ремонтне обслуговування)
2.7	Робочі дні обігрів на рік	Др обігрів	днів	181	обігрів
2	Технічні та виробничі показники				
2.8	Годин у добі	Т доб	год	24	
2.9	Вартість електроенергії	С еє	\$/МВт-год	70	70
2.10	Вартість палива (з постачанням)	С пг, Стд	\$/тис. м ³ , \$/т	350	45
2.11	Ставка дисконтування	Сдіс	%	5	5
2.12	Курс валюти	Квал	грн / \$ США	28	28

Примітка. Загально – виробничі затрати на котельні при розрахунку $LCO_{H,ком}$ не враховувались у змінних та умовно – постійних витратах.

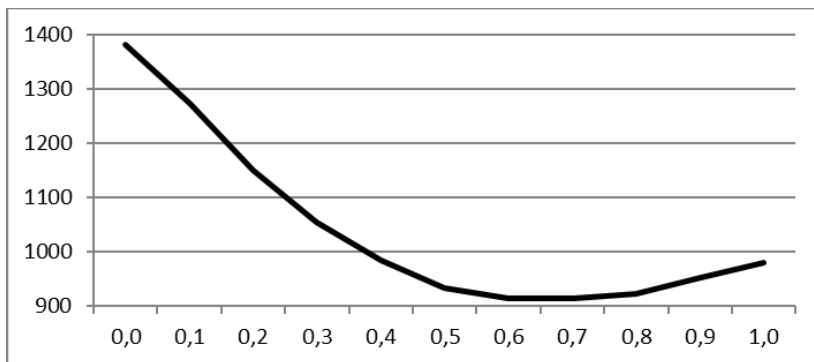


Рис. 1. Вплив співвідношення N_{bk}/N_{kom} на $LCON_{kom}$ для комбінованої котельні, грн/Гкал

Графік тривалості теплового навантаження (графік Росандера) та інтегральна крива розподілу виробітку теплової енергії комбінованою бівалентною котельнею з двома джерелами теплової енергії визначалися за рекомендаціями [3, с. 42-43].

Розподіл річного виробітку теплової енергії біопаливним котлом комбінованої бівалентної котельні в залежності від його відносної теплової потужності при різному навантаженні на гаряче водопостачання визначався за допомогою графіка, наведеного в [4, с.82].

Біопаливні котли експлуатуються в режимі гарячого водопостачання протягом всього року і основну частину теплопостачання для обігріву помешкань будівель. Газові котли використовуються в піково-резервному режимі для забезпечення теплопостачання для обігріву помешкань будівель в опалювальний період підчас мінімальних температур зовнішнього повітря.

Аналіз отриманих результатів розрахунків для $LCON_{kom}$ даної комбінованої котельні демонструє наявність залежності $LCON_{kom}$ від структури технологічного виробництва теплової енергії : від співвідношення потужності біопаливного котла (котлів) до загальної теплової потужності цієї котельні N_{bk}/N_{kom} з екстремумом (мінімальним значенням) в діапазоні значень 0,5 – 0,7 (рис. 1).

Такий підхід дозволяє загалом оптимізувати технологічну структуру комбінованих котельень для мінімізації середньозваженої собівартості теплової енергії за життєвий цикл.

Література:

1. Колиенко А.Г. Оптимизация тепловой мощности котлов на биотопливе в составе комбинированных котельных. *ГАЗинформ*, 2013, № 4, С.44 – 46.
2. Renewable Power Generation Costs in 2019. Annex I . Cost metric methodology. International Renewable Energy Agency (IRENA). 2020, 144 p.
3. Крамар В.Г. Побудова графіка тривалості теплового навантаження (графіка Росандера) для регіонів України. *Промислова теплотехніка*, 2018, т. 40, № 4, с. 41–49.
4. Біоенергетичні проекти від ідеї до втілення. Практичний посібник / Під заг. редакцією Тормосова Р. Ю. – К.: ТОВ «Поліграф плюс», 2015. 208 с.