

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2021, 4(67): 56–63
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2021.04.056>

УДК 620.9.332.1

В.В. ГОРСЬКИЙ, ORCID: 0000-0001-9128-9556

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

ВИБІР МЕТОДУ РОЗПОДІЛУ СПІЛЬНИХ ПОВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ У КОМБІНОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЕНЕРГОНОСІЇВ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЙОГО НА ПРИКЛАДІ ВУГІЛЬНОЇ ТЕЦ

У роботі розглядається комбіноване виробництво на теплових станціях та складові, що впливають на енергоемність відпуску енергоносіїв, оскільки одним з найважливіших методичних питань в енергетиці є оптимальний розподіл витрат між виробництвом і передачею електричної та теплової енергії. Також наведено основні методи розподілу енергозатрат при комбінованому виробництві, проаналізовано кожен із них та приведені переваги і недоліки, що виникають при їх використанні. Усі методи дають різні результати при обрахунку, і розбіжність досить суттєва. Проаналізувавши та порівнявши їх, можна виявити як переваги, так і недоліки кожного методу, в залежності від поставленої задачі при розрахунку. Для найбільш поширених чотирьох методів було представлено їх порівняння та доцільність застосування. Після аналізу, для подальших розрахунків та операцій, було прийнято використовувати термодинамічний метод розподілу. Для прикладу було визначено ланцюг основних складових енергозатрат при комбінованому виробництві на вугільній ТЕЦ, та обраховано енерговитрати для двох типів станцій із приведенням питомих витрат на 1 тону гострої пари, що виробляється енергетичними котлами. Після чого, в залежності від типу турбоустановки та режиму роботи станції, було визначено та розділено спільні енерговитрати між відпущеною тепловою та електричною енергією.

К л ю ч о в і с л о в а: комбіноване виробництво, розподіл енерговитрат, методи розподілу енерговитрат, енергоносії.

Вступ. У даний час, однією з головних завдань в електроенергетиці є підвищення енергоефективності, рівня її надійності і конкурентоспроможності. Важливим показником оцінки енергетичної ефективності є повна енергоемність продукції та її складові. Огляд існуючих підходів та власні розробки з методики оцінки показника повної енергоемності надано у [1]. Для вирішення завдань конкурентоздатності необхідно визначити обґрунтовані тарифи на виробництво електричної та теплової енергії. З одного боку, тарифи на відпущену енергію повинні відображати всі види витрат при виробництві, та забезпечувати певний рівень рентабельності енергопостачальних організацій. З іншого боку, тарифи повинні спонукати споживачів до зниження енергоемності та оптимізації режиму електропостачання [2]. Контроль над цінами компанії монополіста представляє собою

складну задачу, що стоїть перед державою. На енергетичних підприємствах розрахунок витрат, пов'язаних з виробництвом і передачею енергоносіїв, проводиться за такими складовими:

- витрати на паливо;
- витрати на покупну електроенергію;
- витрати на оплату послуг сторонніх організацій;
- витрати на сировину і матеріали;
- витрати на ремонт основних засобів;
- витрати на оплату праці та відрахування на соціальні потреби;
- витрати на амортизацію основних засобів і нематеріальних активів;
- загальногосподарські витрати;
- інші (цехові) витрати.

Одним з найважливіших методичних питань в енергетиці є оптимальний розподіл витрат між виробництвом і передачею електроенергії та теплової енергії.

© В.В. ГОРСЬКИЙ, 2021

Методологія. Існує ряд методів розподілу енерговитрат за видами продукції. Серед них найбільш поширеними є:

- Розрахунок у відповідності до енергетичної цінності тепла.
- Методи залишкової вартості:
 - а) віднесення залишкових витрат на електричну енергію;
 - б) віднесення залишкових витрат на теплову енергію.
- Метод цінності енергії.
- Фізичний метод.
- Метод зниження виробництва електричної енергії.
- Методи розподілу економії:
 - а) метод рівної економії;
 - б) метод пропорційної економії;
 - в) метод розподілу загального прибутку.

Протягом тривалого часу спочатку використовувався метод розподілу енерговитрат за допомогою коефіцієнта здешевлення вартості 1 тонни відбіраної пари порівняно з вартістю гострої пари:

$$y = \frac{\bar{B}_{\text{відб}}}{\bar{B}_{\text{зос}}}, \quad (1)$$

де y – коефіцієнт зменшення собівартості 1 тони пари; $\bar{B}_{\text{відб}}$, $\bar{B}_{\text{зос}}$ – собівартість 1 тони відбіраної та гострої пари грн/т відповідно.

При цьому коефіцієнт здешевлення пропонувався визначати такими способами:

1) за відношенням ентальпії відбіраної пари $h_{\text{відб}}$ до ентальпії пари перед турбіною – h_0

$$y = \frac{h_{\text{відб}}}{h_0}. \quad (2)$$

Оскільки ентальпія відбіраної й гострої пари мають близьке одне до одного значення, вартість відбіраної пари мало відрізняється від вартості гострої пари й коефіцієнт «здешевлення» вартості відбіраної пари близький до одиниці, тобто практично та й інша пара має однакову вартість. Тому всі вигоди комбінованого виробництва (теплофікації) при цьому методі розрахунку відносяться на електроенергію;

2) за величиною тепловикористання потоків пари в турбіні (коефіцієнт використання потужності):

$$y = \frac{h_{\text{відб}} - h_k}{h_0 - h_k}, \quad (3)$$

де h_k – ентальпія пари, що виходить з турбіни в конденсатор.

У цьому випадку теплоперепад, недовикористаний у циліндрі низького тиску турбіни ($h_{\text{відб}} - h_k$), і наявний теплоперепад ($h_0 - h_k$) значно розрізняються за величиною, у результаті чого вартість відбіраної пари надмірно здешевлюється і пере-

важна частина економії від комбінованого виробітку електроенергії й теплоти припадає на відпущену теплоту;

3) за середньою величиною зазначених вище коефіцієнтів (формула інженера Румянцева) [3]:

$$y = 0,5 \cdot \left(\frac{h_{\text{відб}}}{h_0} + \frac{h_{\text{відб}} - h_k}{h_0 - h_k} \right). \quad (4)$$

Ця формула розрахунку діяла до 1937 р., коли «термодинамічний» метод розподілення витрат на ТЕЦ був за пропозицією А.С. Горшкова (Мосенерго) замінений на фізичний або балансовий метод, при якому розподіл загальних витрат виконується пропорційно кількості палива, витраченого на виробництво кожного виду продукції [4, 5]. Цей метод у свій час був схвалений науково-технічною громадськістю й рекомендований керівництвом енергетики як офіційний і використовується практично дотепер.

Слід зазначити, що в рішенні науково-технічної наради, проведеної енергетичним інститутом ім. Г. Крижанівського (1952 р.) [3], які ухвалили фізичний (балансовий) метод розподілу витрат на ТЕЦ, було записано: «Методи розподілу економії палива при комбінованому процесі вироблення тепла й електричної енергії між цими видами отриманої енергії не можуть впливати з законів термодинаміки й всі спроби безпосереднього термодинамічного обґрунтування того або іншого способу рознесення економії палива між видами отриманої енергії позбавлені наукової підстави», що в цей час зазнає критики.

Перевагою балансового (фізичного) методу є однозначність у розподілі економії й простота практичного розрахунку працівниками ТЕЦ. Цей метод економічно не обґрунтований. При балансовому (фізичному) методі вся економія від комбінованого виробництва електричної й теплової енергії на ТЕЦ стосується тільки електроенергії, завдяки чому її собівартість знижується, а собівартість теплоти завищується.

Застосування цього методу призводить до таких недоліків [4]:

1) перехід на більш високі початкові параметри пари на ТЕЦ веде при цьому методі до зниження собівартості електричної енергії й підвищення собівартості теплоти, тому що загальні капітальні витрати зростають, а економія експлуатаційних витрат відноситься в основному на електроенергію. Тому економічність одержання теплоти знижується зі зростанням початкових параметрів пари на ТЕЦ;

2) паливна складова собівартості теплоти на ТЕЦ не залежить від тиску у відборах пари й тому зниження тиску пари у відборах не веде до зниження собівартості теплоти;

3) збільшення відпускання пари з відборів турбін ТЕЦ не веде до зниження собівартості теплоти.

Частина цих недоліків виключалася шляхом спеціального тарифу на теплоту [4]. Таким чином, цей метод не відповідає сутності технологічного процесу на ТЕЦ і його економічним результатам і не відповідає вимогам розподілу витрат у комбінованому виробництві. Тому завжди стояло завдання вдосконалення методу розподілу витрат на ТЕЦ.

Крім балансового методу, на практиці застосовувався метод «відключення», при якому з сумарних витрат комбінованого виробництва виключалися витрати на побічні продукти, оцінювані за собівартістю їхнього виробництва на інших підприємствах або встановленою ціною (тарифом).

При застосуванні цього методу в енергетиці використали так званий трикутник Гінтера Л.Л. [5]. При його побудові на одній стороні прямокутного трикутника відкладається собівартість 1 кВт·год, а на другій – собівартість 1 ГДж (1 Гкал) (рис. 1). Сторони трикутника СА та СВ визначаються максимальною величиною собівартості електроенергії і теплоти при заданих річних експлуатаційних витратах.

При умові:

$$B = \bar{B}_{e.e.} \cdot E_{pic} + \bar{B}_{m.e.} \cdot \bar{Q}_{vidn.}, \quad (5)$$

Найбільша собівартість 1 кВт·год буде при $\bar{Q}_{vidn.} = 0$, а 1 ГДж - $E_{pic} = 0$.

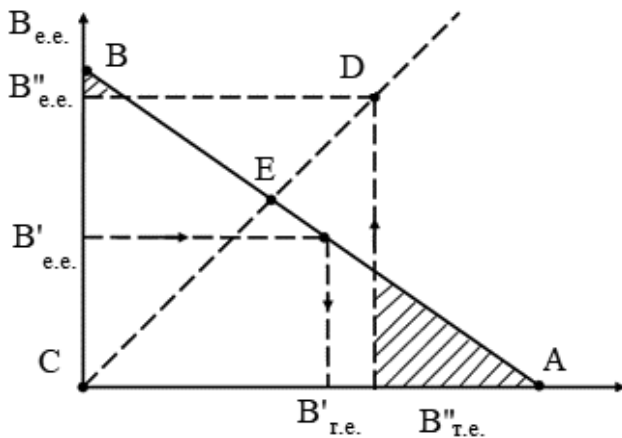


Рис. 1. Трикутник Гінтера

Задавшись вартістю одного з видів енергії, можна визначити вартість другого її виду.

Недоліком методу трикутника Гінтера є неможливість одночасного визначення собівартості теплоти й електроенергії. Трикутник Гінтера може бути застосований в умовах проектування, наприклад, при порівнянні комбінованої й роздільної схем енергопостачання.

У 1963 р. був запропонований компромісний метод розподілу витрат, заснований на розподілі прибутків при комбінованому виробництві електроенергії й теплоти на ТЕЦ. Цей метод має на увазі, що відношення собівартості електроенергії до собівартості теплоти при їхньому комбінованому виробництві має бути таким самим, як і відношення собівартості електроенергії КЕС і до собівартості теплоти, виробленої на спеціалізованій котельні:

$$\frac{\bar{B}_{e.e.}}{\bar{B}_{m.e.}} = \frac{\bar{B}_{e.e.max}}{\bar{B}_{m.e.max}}. \quad (6)$$

У свій час широко розроблялися методи розподілу витрат на паливо між продуктами при комплексному виробництві, у т. ч. й електроенергії й теплоти на ТЕЦ, за рахунок використання поняття ексергії, що дозволяє в одній величині представити як кількісні, так і якісні характеристики енергії [6,7] і ін.

У роботі [6] робиться висновок не на користь використання ексергії для таких розрахунків: «Ентропійний метод, метод працездатності (метод ексергії), має те логічне обґрунтування, що всі втрати реальних циклів означають не зникнення енергії, а лише втрату її енергетичної цінності, вимірюваної тепловим потенціалом і величиною ентропії. З термодинамічної точки зору таке обґрунтування є правильним. Однак в енергетичному виробництві є не тільки теплові процеси та не всі теплові процеси мають кінцевою метою одержання роботи».

Ексергетичний метод розподілу витрат був запропонований у 1956 р. Рантом З. Використання енергетичного методу засновано на ексергетичному балансі ТЕЦ [7]. Приймають, що вартість палива, котра відноситься на вироблення електроенергії й теплоти, необхідно визначати, розділяючи витрату палива відповідно до відношення електроенергії до зменшення ексергії теплоносія. При обліку всіх ККД одержимо зменшення собівартості електроенергії.

Усі раціональні методи мають відповідати таким перевірочним критеріям: зі зниженням тиску пари проміжного відбору собівартість виробництва цієї пари повинна увесь час зменшуватися; при граничних же умовах, коли тиск пари проміжного відбору досягає значення тиску, що існує в конденсаторах конденсаційних турбін, розрахована собівартість виробітку цієї пари має дорівнювати нулю або бути близькою до нуля.

Ні фізичний, ні компромісний методи не відповідають цим перевірочним критеріям, у той же час ексергетичний метод їм відповідає, тому що оцінює якість пари не за її ентальпією, а за її працездатністю.

Оскільки ТЕЦ працює в складі енергосистеми, то при виборі методу розподілу витрат такої ТЕЦ, крім термодинамічних критеріїв, варто було б урахувати її вплив на капітальні витрати й вартість передачі енергії в енергосистемі. Такий облік був запропонований в 1965 р. як розвиток ексергетичного методу [7].

При цьому методі розподілу витрат на ТЕЦ враховується те, що ексергетична собівартість виробництва електроенергії вище, ніж при виробництві її на КЕС у зв'язку з відпусканням на ТЕЦ теплоти, і тому додаткові витрати повинні відноситись на споживачів теплоти. Тому, за методом Вагнера, на виробництво електроенергії на ТЕЦ має витрачатися стільки ж палива, скільки його витрачається на КЕС. Постійні витрати в собівартості (амортизаційні відрахування, зарплата й ін.) електроенергії на ТЕЦ повинні бути такими самими, як і в енергосистемі. Тоді питома собівартість виробітку електроенергії, знайдена за цим методом, буде менше, ніж знайдена за ексергетичним методом.

Широко використовуваний до останнього часу (1998 р.) нормативний документ ГКД 34.09.103-96 передбачає розподіл витрат на ТЕЦ між тепловою й електричною енергією за фізичним (балансовим) методом, що має недоліки: вся економія за рахунок комбінованого виробітку електричної й теплової енергії відноситься на електроенергію, а витрата палива на відпущену одиницю теплоти 1 ГДж (1 Гкал) на ТЕЦ виявлялася вище, ніж у котельнях, призначених для відпускання тільки теплоти.

Тому у зв'язку зі значним підвищенням вартості палива й відповідним збільшенням тарифу на відпущену теплову енергію за дорученням Національної комісії регулювання електроенергетики (НКРЕ) ВАТ «ЛьвівОРГРЕС» у 1997 р. розробило методу «Розподіл витрати палива на теплових електростанціях на відпущену електричну, й теплову енергію при їхньому комбінованому виробництві» (ГКД 34.09.108-98) [8]. Вона з'явилася доповненням до ГКД 34.09.103-96. У цьому випадку розрахунок всіх показників теплової економічності електростанцій виконується відповідно до зазначеної методу, за винятком витрати палива й питомих витрат палива на відпущену електричну й теплову енергію, що визначаються за новою методикою – ГКД 34.09.108-98.

В основу цієї методу закладено принцип однакової вигоди, при якому економія палива за рахунок комбінованого виробітку електроенергії й теплоти на ТЕЦ розподіляється між ними нарівно – коефіцієнт 0,5.

При цьому методі розподіл палива між видами енергії, витрата його на відпущену теплову

енергію визначаються з урахуванням коефіцієнтів цінності теплоти, що відпускається зовнішнім споживачам з відборів парових турбін ТЕЦ. У результаті витрати палива на виробіток електроенергії збільшується порівняно з розрахунком за фізичним методом, а на відпускання теплової енергії – зменшується.

Це дозволяє збільшити розрахункове відпускання теплоти від ТЕЦ і підвищити економічну зацікавленість у комбінованому виробітку електричної й теплової енергії.

Дубовським С.В. [9] було представлено теоретичні особливості і основні результати розрахунку показників енергетичної ефективності паротурбінних установок термодинамічним методом.

Відповідно до термодинамічного методу, теплота на відпуск теплової та електричної енергії від паротурбінних установок розраховується за формулами:

$$Q_e = Q \cdot \frac{E_{\text{відн.}}}{E_{\text{відн.}} + \omega \cdot Q_{\text{відн.}}}; \quad (7)$$

$$Q_T = Q \cdot \frac{\omega \cdot E_{\text{відн.}}}{E_{\text{відн.}} + \omega \cdot Q_{\text{відн.}}}, \quad (8)$$

де Q_e – витрата тепла на відпуск електричної енергії; Q – фактична витрата тепла на паротурбінну установку; $E_{\text{відн.}}$ – фактичний відпуск електричної енергії; $Q_{\text{відн.}}$ – фактичний відпуск теплової енергії; Q_T – витрата теплоти на відпуск теплової енергії;

Питомі витрати тепла на відпущену електричну та теплову енергію визначаємо за допомогою відношень:

$$q_e = \frac{Q_e}{E_{\text{відн.}}}; \quad (9)$$

$$q_T = \frac{Q_T}{Q_{\text{відн.}}}. \quad (10)$$

Усереднений коефіцієнт термодинамічної цінності тепла є відношенням питомої витрати первинної теплоти:

$$\omega = \frac{q_T}{q_e}. \quad (11)$$

Цей метод, на відміну від емпіричних, використовує у якості вихідних дійсні, а не умовні значення параметрів роботи турбін. Як відомо, основна складність енергетичних оцінок ПТУ, як і інших установок комбінованого виробництва, обумовлена фізичною нероздільністю потоку робочого тіла на вході в турбіну на складові, пов'язані з отриманням роботи і теплоти. Термодинамічний підхід дозволяє здійснити таке розділення з використанням об'єктивної законо-

Таблиця 1. Порівняння найбільш широко використовуваних методів

Показники		Номер методики			
		1	2	3	4
1	Витрата умовного палива, кг/с: на виробництво електроенергії; на виробництво теплоти	0,10867 1,14393	0,2416 1,0354	0,21719 1,0354	0,17395 1,0786
2	Питома витрата умовного палива: на виробництво електроенергії, кг/(кВт год); на виробництво теплоти, кг/ГДж	0,13727 38,132	0,3052 33,763	0,2734 34,512	0,2197 35,954
3	Коефіцієнт корисної дії бруто: з виробництва електроенергії; з виробництва теплоти	0,896 0,895	0,403 1,011	0,4483 0,993	0,5591 0,95

мірності, що впливає безпосередньо з першого і другого початків термодинаміки і встановлює зв'язок між енергетичними входами і виходами сумішених процесів.

Також не слід випускати, що в останній час зростає кількість міні-ТЕЦ, переобладнаних великих котелень надбудовою газотурбінними двигунами. І, як показав порівняльний аналіз теплової ефективності роботи когенераційних установок у роботі [10], результати розрахунків, які отримані за різними методиками, значно відрізняються один від одного (табл. 1).

За нормативним методом (№ 1 табл. 1) ККД виробництва електроенергії надзвичайно високий, а за умови сталої теплової потужності наближається до одиниці зі зменшенням електричного навантаження. У той же час ККД виробництва теплоти виявляється нижчим, ніж ККД котла, який і виробляє цю теплову потужність. За методом НДІ Енергопроекту (№ 2 табл. 1) ККД з виробництва теплоти перевищує одиницю, що суперечить здоровому глузду. Ексергетичний (№ 3 табл. 1) та термодинамічний методи (№ 4 табл. 1) мають схожі результати, що є досить адекватними. Проте ексергетичний метод справедливий тільки при роботі станції по тепловому графіку у базі електричного навантаження, тоді як термодинамічний метод продовжує правильно працювати при змінних режимах електричного навантаження, що дає змогу оцінити затрати на відпуск, станція починає працювати по електричному графіку.

Результати. Для визначення повної енергоємності енергоносіїв від ТЕЦ та її складових на прикладі станції, що працює на вугіллі і має теплофікаційну турбіну типу «Т» з опалювальним відбором пари на потреби комунальних споживачів, було враховано дослідження наведені у роботі [11] об'єктивні оцінки ефективності комбінованого виробництва електричної та теплової енергії за загальними даними статистичного обліку та створено ланцюжок витрат енер-

гетичних ресурсів від постачання палива на ТЕЦ до вироблення теплової й електричної енергії із виділенням двох конфігурацій паливного господарства. Оцінка потенціалу енергозбереження на вугільних ТЕС при впровадженні інноваційних технологій було розглянуто в [12], і результати були враховані у вихідних даних для розрахунку та вибору допоміжного обладнання кожного з варіантів.

Методика визначення технологічної (складова повної) енергоємності енергоносіїв, що виробляються на ТЕЦ, надана у [1]:

$$e_n = k_i'' \sum_s e_s (b_{n.s.} + \sum_i a_{ni}' b_{nis}') + e_i^{hc}, \quad (12)$$

де k_i'' – коефіцієнт розподілу, обраний для конкретної технології виробництва i -го, продукту багатопродуктового виробництва; e_s – повна енергоємність s -го виду енергоресурсу; b_{ns} – питома витрата s -го виду енергоресурсу в основному виробництві, i – індекс виду допоміжного виробництва; a_{ni} – питома витрата i -го виду продукції допоміжного виробництва; b_{nis}' – питома витрата s -го виду енергоресурсу на виробництво i -го виду допоміжної продукції.

Розрахунки технологічної енергоємності виконано за наступними варіантами. Для обрахунку повної енергоємності по всьому технологічному ланцюгу витрат на ТЕЦ, було зібрано інформаційну базу даних, відповідно до ДСТУ 7674:2014 Енергозбереження. Енергоємність технологічного процесу вироблення електричної та теплової енергії, відпущених від теплової електростанції. Методи визначення, який було розроблено на основі дослідження С.В. Дубовського, у яких обґрунтовано загальний принцип точного поділу витрати енергії між продуктами прямих і зворотних циклів комбінованого виробництва теплоти і роботи [13] і на основі отриманих даних створено модель для обрахунку у програмному забезпеченні Microsoft Excel [14]. Отримані результати наведено на рис. 2. Енергоємність природоохоронних заходів у технологічній енергоємності

енергоносіїв обчислена за методикою [15] та за вихідними даними, наведеними у [16]. Перший варіант включає технології вугільної електростанції з найбільш поширеним основним та допоміжним обладнанням, що працюють в даний час на українських теплоелектроцентралях із використанням газових турбін для розморожування палива в зимовий період, шаробарабаних млинів для розмелу, пилоподавання із звичайною концентрацією пилу в потоці повітря, факельного спалювання вугілля в камерних топках із гідрозолошлаковидаленням та мокрими електрофільтрами для очищення від твердих частинок, напівсухої вапняної технології сіркоочищення і селективним каталітичним відновленням для зменшення викидів оксидів азоту. У другий варіант було закладено «нові» удосконалені вугільні енергоблоки, з технологіями, які частково використовуються на окремих ТЕС і є перспективними на даний час, що включають наступне основне та допоміжне обладнання: газові радіаційні панелі розморожування палива, валкові або молоткові млини, пилоподавання із високою концентрацією пилу у потоці повітря та котли із технологією циркулюючого киплячого шару, що дозволяли організовувати заходи по зменшенню оксидів азоту відразу в топці при спалюванні без додаткових енерговитрат, сухе шлаковидалення; очистка від твердих частинок була вибрана у вигляді сухих електрофільтрів, а технологія сіркоочищення – напівсуха аміачна.

Для визначення енергоемності 1 МВт·год електричної енергії та 0,8598 Гкал теплової енергії (що відповідає величині 1 МВт·год), вироблених на ТЕЦ (табл. 1), необхідно визначити робочі параметри турбоустановки за допомогою діаграми режимів, оскільки в табл. 1 енергоемність була приведена на виробництво 1 т пари котлоагрегатами. З діаграми режимів роботи турбоустановки Т-110/120-130 отримуємо: витрати пари на турбіну – 482,5 т/год; номіналь-

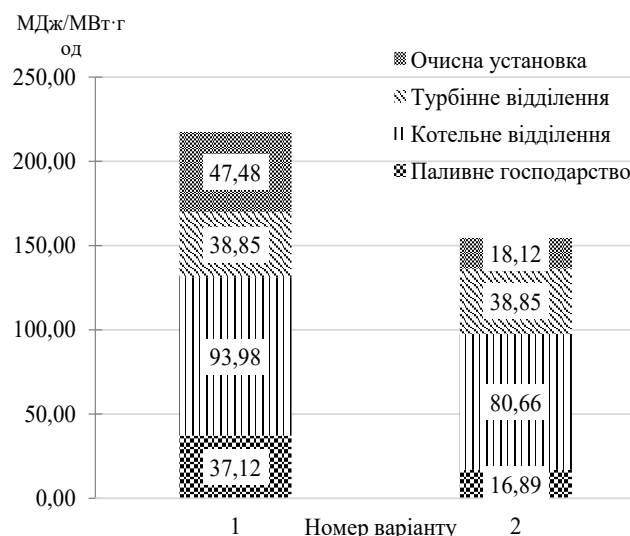


Рис. 2. Енергоемність виробництва енергоносіїв на ТЕЦ разом в залежності від типу обладнання та виду палива, без врахування спаленого палива [12]

на електрична потужність 110 МВт; номінальна теплова потужність опалювальних відборів 208,7 МВт·год; також слід врахувати витрати пари на мазутне господарство в розмірі 10 т/год та витрати пари на власні потреби – 7,5 т/год. При внесенні отриманих даних у модель обрахунку отримуємо енергоемність виробництва енергії на ТЕЦ з розділенням за двома видами енергії, що виробляється за чотирма методиками розподілу: 50/50%, розробленої «ЛьвівОРГРЕС»; за вартістю енергоносіїв, із урахування цін станом на 10.2019 р.[15]; за питомою витратою палива на виробництво даного типу енергоносія та адаптованим до методики повної енергоемності продукції термодинамічним методом [10].

Результати розрахунку повної енергоемності енергоносіїв, що вироблені на вугільній ТЕЦ за різних технологій, надані у табл. 3.

Таблиця 2. Розподіл енерговитрат за чотирма методами

Метод розподілу	Енергоемність відпуску енергії з ТЕЦ:	Варіант 1		Варіант 2	
		МДж/МВт	%	МДж/МВт	%
Без розподілу	Енергоносії разом	2 634,19	100	2 621,88	100
50/50% [8]	теплової енергії	1 724,99	65,48	1 716,93	65,48
	електроенергії	909,20	34,52	904,95	34,52
За вартістю енергоносіїв [12]	теплової енергії	1 207,80	45,85	1 202,15	45,85
	електроенергії	1 426,39	54,15	1 419,73	54,15
За витратою палива [7]	теплової енергії	1 056,60	40,11	1 051,67	40,11
	електроенергії	1 577,59	59,89	1 570,21	59,89
Термодинамічний [9]	теплової енергії	476,00	18,07	473,78	18,07
	електроенергії	2 158,19	81,93	2 148,10	81,93

Таблиця 3. Розрахунок повної енергоємності

Вид ПЕР, інших ресурсів та показників енергозбереження	Од. виміру, натуральні одиниці (н. о.)	Витрати ресурсу при традиційних технологіях підготовки та спалювання вугілля (вар. 1), (н. о./т пари)	Витрати ресурсу при новітніх технологіях підготовки та спалювання вугілля (вар. 2), (н. о./т пари)	Повна енергоємність ресурсу (МДж/н. о.)	Повна енергоємність продукту при традиційних технологіях (МДж/т пари)	Повна енергоємність продукту при новітніх технологіях (МДж/т пари)
1. Енерговитрати в паливному господарстві						
Разом					2634,19	2621,88
У тому числі:						
1.1 Вугілля	кг	96,91	96,91	27,0	2616,57	2616,57
1.2 Газ (на розмороження вугілля взимку)	м ³	0,19	0,09	31,0	5,89	3,16
1.3 Електроенергія (на розмелювання та транспортування вугілля до котельної установки)	кВт·год	3,24	0,59	3,62	11,73	2,15
2. Енерговитрати в котельному відділенні						
Разом					59,89	51,41
У тому числі:						
2.1 Електроенергія (на пилоподавання, тяго-дугтєве обладнання, димососи, живильні насоси, регенеративний водопідігрівач, хімовдоочищення, шлаковидалення)	кВт·год	16,54	14,21	3,62	59,89	51,41
3. Енерговитрати в турбінному відділенні						
Разом					24,76	24,76
У тому числі:						
3.1 Електроенергія (циркуляційні насоси, мережні насоси, дренажні насоси)	кВт·год	6,84	6,84	3,62	24,76	24,76
Пряма енергоємність енергоносіїв						
Разом (1+2+3)					2718,84	2698,05
4. Енерговитрати на очисній установці						
Разом					30,26	11,54
У тому числі:						
4.1 Електроенергія	кВт·год	3,96	2,09	3,62	14,33	7,56
4.2 Вапно (сорбент)	кг	3,3	1,1	3,62	11,95	3,98
4.3 Каталізатор	кг	1,1	0	3,62	3,98	0
Технологічна енергоємність енергоносіїв						
Разом (1+2+3+4)					2749,11	2709,59
5. Повна енергоємність основних виробничих фондів					164,95	135,47
7. Повна енергоємність трудовитрат	люд.-год	0,18		149	27,49	27,09
Повна заводська енергоємність енергоносіїв						
РАЗОМ					2941,55	2872,15
У тому числі:						
Електроенергія	МВт	0,599			1761,69	1720,42
Теплова енергія	Гкал	0,401			1179,86	1151,73

ВИСНОВКИ

Комбіноване виробництво електричної енергії та теплоти є основною тенденцією сучасного розвитку систем енергопостачання у світі. Частка виробництва електроенергії на ТЕЦ в Україні співпадає з часткою теплофікаційного виробництва країн G8+5 і дорівнює 11–19%. Коефіцієнт використання теплоти палива на ТЕЦ в країнах ЄС досягає 75% [17]. Важливим показником енергетичної ефективності, що характеризує повний технологічний цикл виробництва є повна енергоемність продукції. Для визначення техніко-економічних показників роботи ТЕЦ, собівартості видів енергопродукції, обґрунтованих тарифів на них необхідно визначитись з підходом до розподілу енерговитрат на відпуск кожного із продуктів. У даний час, існує ряд методів розподілу енерговитрат за видами продукції при комбінованому виробництві. Всі методи дають різні результати при обрахунку, і розбіжність досить суттєва. Проаналізувавши та порівнявши їх можна виявити як переваги так і недоліки кожного методу, в залежності від поставленої задачі при розрахунку. З досліджених методів, як найбільш обґрунтований, обрано термодинамічний метод розподілу. Було розглянуто весь ланцюг енерговитрат на вугільних ТЕЦ із приведенням питомої енергоемності на 1 тону гострої пари та виконано із застосуванням термодинамічного методу розподіл цих енерговитрат на вироблену електричну і теплову енергію для паротурбінних ТЕЦ із різними технологіями підготовки та спалювання вугілля. Аналіз отриманих результатів показав, що технологія підготовки палива та спалювання може суттєво впливати на загальну енергоемність продукції.

1. Maliarenko, O., Horskyi, V., Stanytsina, V., Bogoslavskaya, O., & Kuts, H. (2020). An improved approach to evaluation of the efficiency of energy saving measures based on the indicator of products total energy intensity. V. Babak, V. Isaienko, A. Zaporozhets (Eds.). *Systems, Decision and Control in Energy I. Studies in Systems, Decision and Control*, 298, 201–216. Springer Nature Switzerland AG. ISBN 978-3-030-48582-5. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_13

2. Можаяева С. Экономика энергетического производства: учебное пособие. 6-е изд., доп. перераб. СПб.: Издательство «Лань», 2011. 272 с.

3. Корогодський В.А., Полтавський І.П., Василенко О.В. Методичні вказівки на виконання курсових і дипломних проектів з дисципліни «Підвищення ефективності теплоенергетичних установок» для студентів спеціальності «Теплоенергетика». Харків: Український державний університет залізничного транспорту, 2015. 54 с.

4. Чепурний М.М. Ефективність роботи паротурбінних і газотурбінних теплоелектроцентралей. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2008. № 2. С. 36–40.

5. Брилль Р.Я., Хейстер И.М. Экономика социалистической энергетики. М.: Высш. шк., 1966. 448 с.

6. Горшков А.С. Технико-экономические показатели: 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1974. 240 с.

7. Szargut J. Egzergia poradnik obliczenia i stosowania. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2007. 279 p.

8. ГКД 34.09.100-2003 Розподіл витрат палива на теплових електростанціях на відпуску електричну і теплову енергію при їх комбінованому виробництві. Методика. Відкрите акціонерне товариство з пуску, налагодження удосконалення технології та експлуатації електростанцій і мереж «ЛьвівОРГРЕС», 2003. 18 с.

9. Дубовський С.В. Термодинамический метод разделения затрат в комбинированных энергетических процессах. *Пром. Теплотехника*. 1995. № 1-3. С. 85–92.

10. Чепурний М.М., Ткаченко С.Й., Бужинський В.В., Лісіна Л.А. До питання про розподіл витрат палива між видами енергопродукції в когенераційних установках, утворених на базі котельень і ГТУ. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2004. № 4. С. 33–36.

11. Дубовський С.В. Об'єктивні оцінки ефективності комбінованого виробництва електричної і теплової енергії за загальними даними статистичного обліку. *Проблеми загальної енергетики*. 2005. Вип. 1(12). С. 44–50.

12. Горський В.В., Маляренко О.Є. Оцінка потенціалу енергозбереження для вугільних ТЕС при впровадженні інноваційних технологій. *Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції. International scientific and practical conference "Science, engineering and technology: global and current trends": Conference proceedings, December 27-28, 2019. Prague: Izdevnieciba "Baltija Publishing". ISBN 978-9934-588-23-5. P. 77–81.*

13. Дубовський С.В. Энергоэкономичный анализ сполучених систем генерації електричної енергії і теплоти. Київ: Наукова думка, 2014. 186 с.

14. Маляренко О.Є., Горський В.В. Удосконалений підхід до оцінки ефективності енергозберігаючих заходів та технологій на теплоелектроцентралях. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. Вип. 4(59). С. 24–31. <https://doi.org/10.15407/pge2019.04.024>

15. Станиціна В.В. Розвиток методу повної енергоемності для визначення показників енергетичної ефективності та потенціалів енергозбереження: автореф. дис. ... канд. техн. наук, 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси». Ін-т загальної енергетики НАН України. Київ, 2016. 20 с.

16. Артемчук В.О., Білан Т.Р., Блінов І.В. та ін. [за ред. А.О. Запорожця, Т.Р. Білан]. Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики. Національна академія наук України. Відділення фізико-технічних проблем енергетики. Київ, 2017. 312 с.

17. План розвитку Об'єднаної енергетичної системи України на 2016–2025 роки. ДП «НЕК «Укренерго». URL: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua> (дата звернення: 03.10.2019).

Надійшла до редколегії: 05.10.2021