

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy. 2017, 3(50):23-32
doi: <https://doi.org/10.15407/page2017.03.023>

УДК 620.92

В.Д. БІЛОДІД, канд. техн. наук, ст. наук. співр.
Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

ПОВНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ, ЩО ВИРОБЛЯЄТЬСЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Запропоновані нові деталізовані методики визначення окремих значень повних енергетичних витрат у компоненти енергетичних установок та значень важливих констант для їх визначення, що дозволить більш точно та аргументовано визначати ефективність електростанцій за методологією повних енергетичних витрат. Визначення складових енерговитрат на створення (будівництво) експлуатацію та ліквідацію електростанцій здійснюється за формулами, які відрізняються від існуючих за ДСТУ 3682–98 в частині деталізації розрахунків, врахуванням на всіх етапах, як прямих, так і опосередкованих витрат енергії.

Ключові слова: повні енергетичні витрати, показники ефективності, енергетичні об'єкти, електростанції.

Основи методології визначення енергетичної ефективності за значеннями повних енергетичних витрат та запропоновані критерії оцінок ефективності були викладені в роботах [1, 2]. Суть її полягає в такому.

Визначаються повні енергетичні затрати для усіх стадій життєвого циклу енергоустановки. Визначаються оціночні результати роботи енергоустановки за весь період її експлуатації. Обчислюється корисний енергетичний ефект від роботи енергоустановки за формулою:

$$E_{kor} = E - \varphi \sum_{i=1}^n E_{b_i} - \sum_{j=1}^m E_{e_j} - E_{ut}, \quad (1)$$

де E – сумарна кількість енергії, що виробляється енергоустановкою за весь термін її існування τ_e років та передається на споживання, Дж; φ – коефіцієнт розширеного відтворення енергетичного виробництва (може набувати значень від 1,05 до 2 і більше залеж-

но від заданих умов); E_{b_i} – сумарні витрати енергії на створення i -го елемента енергоустановки, Дж; n – кількість елементів установки, шт.; E_{e_j} – затрати енергії на експлуатацію j -ї статті витрат установки впродовж τ_e років її існування (повернення кредитів, ремонти, комплектуючі, заробітна плата персоналу, оплата податків та інших витрат, пов'язаних з функціонуванням та обслуговуванням установки, тощо), Дж; E_{ut} – затрати енергії на ліквідацію енергоустановки та утилізацію залишків після закінчення терміну її експлуатації, Дж.

У роботах [1, 2] були введені поняття «коефіцієнт ефективності технології (установки)» (позначення κ), фізична суть якого полягає у тому, наскільки енергія, що виробляється установкою, перевищує затрати енергії на створення, функціонування та ліквідацію технології (установки), а також «коефіцієнтом енерговіддачі» (позначення ω_e) технології (енергоустановки), який за своєю суттю є аналогом ККД установки. Отже маємо

$$\kappa = \frac{E}{E - E_{kor}},$$

або $\kappa = \frac{E}{\varphi \sum_{i=1}^n E_{b_i} + \sum_{j=1}^m E_{e_j} + E_{ut}}$ та (2)

$$\omega_e = \frac{E_{kor}}{E},$$

або $\omega_e = 1 - \frac{\varphi \sum_{i=1}^n E_{b_i} + \sum_{j=1}^m E_{e_j} + E_{ut}}{E}$. (3)

Також було показано, що

$$\kappa = \frac{1}{1 - \omega_e}, \text{ або } \omega_e = 1 - \frac{1}{\kappa}. \quad (4)$$

З формул (2), (4) видно, що значення κ можуть змінюватися в діапазоні від 0 до $+\infty$. Значення ж ω_e знаходяться в діапазоні від $-\infty$ до +1. Якщо витрати енергії на отримання енергії $E - E_{kor} = 0$, тобто вся енергія корисна, то $\kappa = +\infty$, $\omega_e = 1$. При значенні $E = 0$ (немає енергії, яка подана споживачам), $\kappa = 0$, а $\omega_e = -\infty$. При значеннях, коли $E_{kor} < 0$, тобто коли сумарні витрати енергії на створення установок, її функціонування впродовж терміну експлуатації та ліквідацію після завершення її роботи будуть більшими від отриманого обсягу енергії від установки для споживання (енергії нетто) значення $\kappa = 0 - 1$, $\omega_e = -\infty - 0$. У цьому випадку, незважаючи на те, що енергія для споживання генерується, реальна енерговіддача від такої установки відсутня, вона є по суті споживачем енергії, а не виробником, доцільності у створенні такої установки немає, технологія чи установка не дієздатна. При значеннях $\kappa > 1$, $\omega_e > 0$. При цьому чим більшими є величини κ та ω_e , тим кращою та ефективнішою є технологія (енергоустановка).

Конкретні розрахунки корисного енергетичного ефекту від роботи енергоустановки за формулою (1) та коефіцієнти ефективності за формулами (2)–(4) є проблемними, оскільки

відсутні докладні методики визначення окремих складових енергозатрат у різні компоненти енергоустановок з урахуванням технологічних і експлуатаційних особливостей кожної з них, а також у прийнятті відповідних констант (зокрема питомих значень енерговитрат), які б правильно визначалися. Метою цієї статті є усунення зазначених проблем шляхом створення окремих алгоритмів у розрахунках окремих компонентів енергетичних витрат.

Повні енергетичні витрати на створення об'єктів енергетики

Створення (будівництво) енергооб'єктів передбачає такі складові енергетичних витрат (z), аналогічні витратам у грошовій формі:

- геологічні пошукові роботи та проектування;
- підготовка до будівництва та створення відповідної інфраструктури;
- проведення будівельних робіт;
- закупка обладнання та його монтаж;
- проведення пусканалагоджувальних робіт.

Сумарні витрати на створення енергетичного об'єкта становитимуть:

$$E_{bud} = \sum_{i=1}^z E_{bud_i}, \text{ Дж.} \quad (5)$$

Витрати на геологічні пошукові роботи та проектування. Витрати на геологічні пошукові роботи та проектування можна визначати як певну відсоткову ставку сумарних фізичних витрат енергії на будівництво. Тобто

$$E_{bud_1} = \lambda_{bud_1} E_{bud}, \text{ Дж,} \quad (6)$$

де λ_{bud_1} – коефіцієнт витрат на геологічні пошукові роботи та проектування.

Отже, для визначення показника за формулою (3) необхідно спочатку оцінити витрати на саме будівництво.

Значення коефіцієнта λ_{bud_1} визначається характером об'єктів, їх складністю та небезпечністю для населення, зокрема з точки зору

охорони навколишнього середовища. Геологічні дослідження мають відповісти на питання щодо можливостей будівництва на тих ґрунтах (масивах, геологічних формаціях), що знаходяться в межах будівельного майданчика. Його значення може бути від 0,1 для простих об'єктів до 0,25 для складних (наприклад, для АЕС).

Безпосередні витрати енергії на будівництво. Ці витрати включають в себе чотири інших складових із наведеного вище списку:

$$E_{bud_2} = E_{baz} + E_{b.r} + E_{obl} + E_{n.r}, \text{ Дж.} \quad (7)$$

Витрати енергії на підготовку до будівництва та створення відповідної інфраструктури залежать від того, який саме енергетичний об'єкт має споруджуватися. При спорудженні великих ТЕС, АЕС, ГЕС ці витрати є значними. При будівництві ж, наприклад, сонячних фотоелектричних електростанцій (СФЕС) або вітрових електростанцій (ВЕС) ці витрати є відносно малими. Бажано, щоб при проведенні розрахунків ці витрати оцінювалися за спеціальними методиками, розробленими для кожного з видів об'єктів. При виконанні розрахунків можна приймати їх укрупненими залежно від витрат на власне будівництво та закупівлю обладнання. Для ТЕС, АЕС та ГЕС доцільно прийняти їх на рівні 10% від суми вказаних складових, а для об'єктів ВДЕ у сумі 3–5%. Отже

$$E_{baz} = \lambda_{baz} (E_{b.r} + E_{obl}), \text{ Дж,} \quad (8)$$

де λ_{baz} – коефіцієнт витрат енергії на підготовку будівництва (0,03–0,1).

Подібним методом можна визначати витрати енергії на пусконаладжувальні роботи. Отже:

$$E_{n.r} = \lambda_{n.r} (E_{b.r} + E_{obl}), \text{ Дж,} \quad (9)$$

де $\lambda_{n.r}$ – коефіцієнт витрати енергії на пусконаладжувальні роботи (0,01–0,05).

Що стосується витрат енергії на саме будівництво та обладнання, то вони визна-

чаються для всіх будівельних об'єктів з їх будівельними характеристиками. Таким чином:

$$E_{b,r} = \sum_{k=1}^n E_{b,r,k};$$

$$E_{obl} = \sum_{j=1}^m E_{obl,j}, \text{ Дж,} \quad (10)$$

де n – кількість будівельних об'єктів на електростанції; m – кількість елементів обладнання на електростанції в усіх будівельних об'єктах.

Слід зазначити, що витрати енергії при будівництві міститимуть і затрати на заробітну платню будівельників, на податки та прибутки, а також на інші не враховані роботи. Визначення цих складових можна буде розрахувати за формулами, наведеними далі.

Повні енергетичні витрати на експлуатацію об'єктів енергетики

При експлуатації енергетичних установок (об'єктів) впродовж терміну їх життя мають місце такі енергетичні витрати:

- витрати на паливо (чи інші енергоносії) для експлуатації;
- витрати на амортизацію (відтворення);
- витрати на щорічні профілактичні ремонти;
- витрати на періодичне проведення капітальних ремонтів із заміною частини обладнання та модернізацією;
- витрати на інші матеріали та реагенти (крім палива чи енергії), необхідні для роботи енергетичного об'єкта.

Окрім того, як уже зазначалося вище, кожна із перерахованих складових, окрім прямих енергетичних витрат, містить опосередковані витрати, пов'язані з виплатою заробітної платні персоналу, оплаченими податками та зборами, отриманим прибутком та іншими затратами.

Сумарні експлуатаційні витрати становитимуть:

$$E_{eks} = \sum_{i=1}^z E_{e_i}, \text{ Дж,} \quad (11)$$

де z – кількість складових експлуатаційних витрат.

Витрати на паливо для експлуатації. Ці витрати можна визначати за такою формулою:

$$E_p = N \cdot \tau_u \cdot b_p \cdot \tau \cdot e_p, \text{ Дж}, \quad (12)$$

де N – потужність енергоустановки, кВт; τ_u – число годин роботи встановленої потужності уставки за рік, год/рік; b_p – питомі витрати палива, кг/(кВт·год); τ – кількість років роботи об'єкта, років; e_p – питомі енергетичні витрати на паливо, Дж/кг.

Практично всі складові формули (12) легко визначаються і добре відомі. Складність може бути лише при визначенні питомих енергетичних витрат енергії на паливо.

Питомі енергетичні витрати енергії на паливо визначаються як сума витрат на його видобування, збагачення (виробництво), транспортування, зберігання тощо.

Разом з тим слід враховувати, що крім прямих витрат енергії на отримання палива існують опосередковані витрати, а саме витрати на створення основних виробничих фондів (ОВФ) підприємств з видобутку та збагачення палива, витрати на їх експлуатацію і ліквідацію. Окрім того, знову ж необхідно врахувати витрати на заробітну платню, податки та збори, прибутки, тощо, що мають місце на стадіях отримання палива. Отже:

$$E_{p,p} = E_p \cdot k_{p,p}, \text{ Дж}, \quad (13)$$

де $k_{p,p}$ – коефіцієнт інших витрат енергії на одиницю палива, крім прямих.

Значення $k_{p,p}$ може бути різним залежно від складності видобутку. Для українського вугілля, наприклад, його можна прийняти рівним 2.

Витрати енергії на амортизацію (відтворення). Амортизаційні витрати мають забезпечити відтворення об'єктів після закінчення терміну їх експлуатації. Отже:

$$E_a = \alpha_a \cdot E_{kap} \cdot k_{pr} \cdot \tau + E_r, \text{ Дж}, \quad (14)$$

де α_a – амортизаційний коефіцієнт, який враховує необхідність відтворення об'єкта; E_{kap} – повні енергетичні витрати на будівництво об'єктів, Дж; k_{pr} – коефіцієнт науково-технологічного прогресу; E_l – повні енергетичні витрати на ліквідацію об'єкта, який своє відпрацював (демонтаж старого обладнання, руйнування будівель, утилізація залишків), Дж.

Значення α_a можна приймати як величину, обернену до терміну експлуатації τ . Тоді формула (14) стане такою:

$$E_a = E_{kap} \cdot k_{pr} + E_l, \text{ Дж}. \quad (15)$$

Коефіцієнт науково-технологічного прогресу враховує зниження сумарних енергетичних витрат на створення нового об'єкта такої самої потужності після припинення його функціонування, що є наслідком вдосконалення технологій. Його можна визначати за темпами зниження енергоємності ВВП в цілому по країні. Так, наприклад, при усереднених темпах зниження енергоємності ВВП e_{vvp} за період τ років, значення коефіцієнта буде:

$$k_{pr} = (1 - e_{vvp})^{\tau-1}, \text{ Дж}. \quad (16)$$

Витрати на щорічні профілактичні ремонти. Ці витрати залежать від складності енергоустановки, її особливостей в експлуатації тощо. Ці витрати можна оцінити таким чином:

$$E_r = \alpha_r \cdot E_{kap}, \text{ Дж}, \quad (17)$$

де α_r – коефіцієнт, який враховує необхідні щорічні витрати енергії на поточні ремонти.

Коефіцієнт α_r визначається і обґрунтовується для кожного типу енергетичного об'єкта. За оцінками він може набувати значення від 0,01 до 0,05 залежно від експлуатаційних особливостей енергетичних об'єктів. Для АЕС цей коефіцієнт має підвищене значення у зв'язку з особливостями вимог до безпеки їх функціонування. Для енергетичних об'єктів, що використовують ВДЕ, він може бути мінімальним.

Таблиця – Структура валового внутрішнього продукту України [3], %

Рік	2010	2011	2012	2013	2014
Валовий внутрішній продукт	100	100	100	100	100
Оплата праці найманих працівників	48,2	47,2	50,5	50,1	46,3
Податки за виключенням субсидій на виробництво та імпорт	11,8	13,8	12,7	12,5	12,9
Валовий прибуток, змішаний дохід	40	39	36,8	37,4	40,8

Витрати на капітальні ремонти та модернізацією об'єктів. Як і в попередньому випадку ці витрати залежать від складності об'єктів, особливостей в експлуатації тощо.

При терміні експлуатації об'єктів у 30 років можна прийняти, що за цей період необхідно провести 2–4 капітальних ремонти (через кожні 5–10 років). При цьому витрати енергії на перший капітальний ремонт будуть дещо меншими, ніж на другий, а на третій – будуть дещо більшими, ніж на другий і т.п. Отже:

$$E_{kr} = \left(\sum_{j=1}^m \alpha_{krj} \right) E_{kap}, \text{ Дж}, \quad (18)$$

де α_{kr} – коефіцієнт, який враховує необхідні витрати енергії на j -й капітальний ремонт; m – кількість капітальних ремонтів, шт.

Витрати енергії на заробітну платню персоналу. Повні енергетичні витрати на заробітну платню та нарахування на неї на підприємстві за τ років експлуатації можна визначати за формулами, наведеними у роботі [2]:

$$E_z = e'_z \cdot F \cdot \tau \cdot k_\tau, \text{ Дж}, \quad (19)$$

де e'_z – питома енергоємність зарплати, Дж/грн; F – річний витрачений фонд зарплати на підприємстві, грн; k_τ – коефіцієнт, який враховує зміни у рівнях зарплат за період експлуатації енергетичного об'єкта впродовж τ років.

Однак простіше цей показник можна визначати через значення такого показника, як енергоємність ВВП, а саме:

$$e'_z = 29,3 \cdot 10^6 \alpha_z \cdot e_{vvp}, \text{ Дж/грн}, \quad (20)$$

де α_z – частка у структурі ВВП, що пішла на оплату праці найманих працівників (наприклад, за 2014 р. ця частка становила 46,3% [3] і коефіцієнт $\alpha_z = 0,463$); e_{vvp} – енергоємність ВВП у році, що фігурує як розрахунковий (визначається із статистики: так, за даними [4] цей показник у 2014 р. для України мав значення 0,31 кг н.е./дол. США, або 0,097 кг у.п./грн при значенні паритету купівельної спроможності долара США 4,58 грн/дол. США – 2010), кг у.п./грн.

У таблиці наведено дані щодо структури ВВП України за даними [3].

Витрати енергії на оплату податків і загальнодержавних зборів. Використовуючи такий самий підхід, як і при визначенні енерговитрат на заробітну плату, енерговитрати на податки за τ років експлуатації підраховуються за формулою:

$$E_{pod} = e'_{pod} \cdot P \cdot \tau, \text{ Дж}, \quad (21)$$

де e'_{pod} – питома енерговитрати на оплату податків, Дж/грн; P – обсяг сплачених податків підприємством (виробництвом) у поточному році за виключенням субсидій на виробництво та імпорт, грн.

Питому енерговитрати на податки за τ років експлуатації також можна визначити через значення e_{vvp} , тобто:

$$e'_{pod} = 29,3 \cdot 10^6 \beta_{pod} \cdot e_{vvp} \cdot k_{pod}, \text{ Дж/грн}, \quad (22)$$

де β_{pod} – частка податків у структурі ВВП, за виключенням субсидій на виробництво та імпорт (у 2014 р. ця частка становила 12,9% (див. таблицю) [3]); k_{pod} – коефіцієнт, який

враховує можливі зміни у обсягах нормативів на податки і збори, що можуть статися за період τ років експлуатації.

Витрати енергії на створення планових прибуткових накопичень. Використовуючи такий самий підхід, як і при визначенні енерговитрат на зарплатню чи податки, енерговитрати на отримані прибутки можна підрахувати за такою формулою:

$$E_{pr} = e'_{pr} \cdot Pr \cdot \tau, \text{ Дж}, \quad (23)$$

де e'_{pr} – питомі енерговитрати на отримані прибутки, Дж/грн; Pr – обсяг отриманого прибутку підприємством (виробництвом) у поточному році, грн.

Питомі енерговитрати на отримані прибутки:

$$e'_{pr} = 29,3 \cdot 10^6 \beta_{pr} \cdot e_{vvp}, \text{ Дж/грн}, \quad (24)$$

де β_{pr} – частка валового національного прибутку у структурі ВВП (у 2014 р. ця частка становила 40,8% (див. таблицю) [3]).

Витрати енергії на інші матеріали та реагенти (крім палива), необхідні для роботи енергетичних об'єктів. Витрати енергії на інші матеріали та реагенти (крім палива), необхідні для роботи енергетичних об'єктів, визначатимемо з такого виразу:

$$E_{in} = \varphi_{in} (E_z + E_r + E_p + E_{pr}), \text{ Дж}, \quad (25)$$

де φ_{in} – коефіцієнт, який враховує інші витрати (можна прийняти рівним 0,02–0,05 залежно від складності енергоустановки).

Повні енергетичні витрати на ліквідацію об'єктів енергетики

Ліквідація енергоустановки після завершення її планового терміну експлуатації може включати такі статті витрат:

- витрати енергії на експлуатацію електростанції, пов'язані із її зупинкою і підготовкою до демонтажу;
- витрати енергії, пов'язані з реалізацією частини майна станції, яке може бути про-

дане для подальшого використання;

- витрати енергії на демонтаж обладнання та будівель;
- витрати енергії на утилізацію відходів, рекультивацію земель, збереження та захоронення особливо шкідливих речовин та елементів електростанції.

Витрати енергії на експлуатацію електростанції, пов'язані із її зупинкою і підготовкою до демонтажу, мають різні масштаби для різних типів електростанцій. Якщо для ТЕС, СЕС чи інших об'єктів вони можуть бути практично нульовими, то для АЕС вони можуть бути дуже значними. Після зупинки значний період часу АЕС перебуватиме у законсервованому стані з метою зниження радіоактивного фону на її об'єктах, що унеможливило негайну ліквідацію. Окрім того, на АЕС продовжується зберігання відпрацьованого ядерного палива (ВЯП), радіоактивних відходів (РАВ), продовжується споживання електроенергії для охолодження сховищ ВЯП та РАВ. На АЕС продовжує працювати скорочений персонал станції, бригади по демонтажу певних не забруднених елементів станції, воєнізована охорона забезпечує безпеку станції. Цей період, за даними [5], може продовжуватися до 100 років і більше.

За результатом дослідження [6] енергетичні витрати на процеси зняття з експлуатації АЕС потрібно оцінювати у розмірі 40–70% від витрат на їх будівництво, для ТЕС – 10–15%, а для СЕС і інших об'єктів з використанням ВДЕ – до 5%.

Отже, енерговитрати на ліквідацію енергетичних об'єктів визначатимемо з виразу:

$$E_l = \mu_l E_{\text{бюд}}, \text{ Дж/грн}, \quad (26)$$

де μ_l – коефіцієнт, який враховує рівень витрат енергії на ліквідацію енергетичних об'єктів (0,05–0,7).

Сталі коефіцієнти та показники

Розрахункові витрати енергії на паливо для вугільних ТЕС. Формами статистичної звітності України передбачено визначення пито-

мих витрат енергії, зокрема на вугілля, що надходить на ТЕС. Ці дані приводяться у формах статистичної звітності 11-МТП і публікуються у статистичних збірках. Так, за даними [7] у 2014 р. питомі витрати енергоресурсів на видобування вугілля були такі: палива 1,1 кг/т, теплової енергії – 25,2 Гкал/т, електричної енергії – 56,2 (кВт·год)/т. Питомі витрати палива на виробництво електроенергії на ТЕС становили 0,395 кг у.п./кВт·год, на виробництво теплової енергії в котельних – 164 кг у.п./Гкал. Таким чином, питомі енерговитрати на вугілля у 2014 р. становили:

$$ev_{baz} = 25,2 \cdot 0,164 + 56,2 \cdot 0,395 + 1,1 = 38,4 \text{ кг у.п./т.} \quad (27)$$

Витрати енергії на вантажоперевезення залізничним транспортом становили: електроенергії 94,2 (кВт·год)/(10 тис. т·км), теплової енергії 8,1 Гкал/(10 тис. т·км). Середня відстань вантажоперевезень в Україні у 2013 р. за даними [8] дорівнювала 506 км. Отже, питомі витрати енергії на перевезення вугілля у базовому (наприклад, 2014 р.) в Україні становила величину:

$$etr_{baz} = (94,2 \cdot 0,395 + 8,1 \cdot 0,164) \cdot 506/104 = 1,94 \text{ кг у.п./т.} \quad (28)$$

Необхідно врахувати, що середні енерговитрати на видобуток вугілля будуть змінюватися із темпом зміни $\pm \alpha_v\%$ за рік, а енерговитрати вантажоперевезень із темпом $\pm \alpha_{tr}\%$ за рік.

Необхідно також врахувати можливі зміни у теплотворній здатності вугілля (очевидно, що якість вугілля повинна поліпшуватися). Зробимо припущення, що за τ років калорійність вугілля зросте від Q_{r1}^n (значення для

базового року, $k_{v1} = \frac{Q_{r1}^n}{7000}$) до Q_{r2}^n ккал/кг

($k_{v2} = \frac{Q_{r2}^n}{7000}$), де Q_r^n – середня калорійність вугілля у поточному році, ккал/кг.

Тоді середньозважені за період τ років

енерговитрати на умовне паливо будуть:

$$e_{v.s} = e_{v.baz} \left(\frac{k_{v1} + k_{v2}}{2} \right) (1 + \alpha_v)^\tau + e_{tr.baz} (1 + \alpha_{tr})^\tau. \quad (29)$$

Підставляючи відповідні значення для 2014 р. (як базового, $ev_{baz} = 38,4$ кг у.п./т та $etr_{baz} = 1,94$ кг у.п./т), і $\alpha_v = -0,005$, $\alpha_{tr} = -0,0025$, $Q_{r1}^n = 5200$, а $Q_{r2}^n = 6000$ ккал/кг при $\tau = 30$ років, отримуємо середнє значення енерговитрат на вугілля $e_{v.s} = 28,22$ кг у.п./т.

При переведенні цієї величини у Джоулі, отримаємо

$$e_{v.um.s} = 28,22 \cdot 29,3 \cdot 10^6 \approx 0,83 \text{ МДж/кг у.п.} \quad (30)$$

Слід зауважити, що статистична звітність враховує лише прямі енергетичні витрати на всі складові приведених формул. Ніяким чином у цих даних не враховані такі складові, як: витрати енергії на основні виробничі фонди підприємств, амортизаційні відрахування від цих фондів, витрати енергії на поточні та капітальні ремонти цих фондів, витрати енергії на оплату праці, оплату податків та зборів, отримання прибутків, на інші потреби. І тому повні енергетичні витрати на отримане ТЕС паливо будуть значно більшими. Наскільки саме більшими – потрібно дослідити у подальшому. Для наших розрахунків приймемо коефіцієнт збільшення рівним 2. І тоді розрахункові енерговитрати у вугілля для українських ТЕС у період 2010–2040 рр. за формулою (30) становитиме величину:

$$e'_{v.um.s} = 0,83 \cdot 2 = 1,66 \text{ МДж/кг у.п.} \quad (31)$$

Розрахункові питомі енергетичні витрати на електричну енергію, вироблену на вугільних ТЕС України. Питома витрата палива на виробництво електроенергії тепловими електростанціями загального користування згідно з формою статистичної звітності 11-МТП у 2010 р. [7] становила 383,5 кг у.п./тис.

кВт·год). Енерговитрати у вугілля, яке надходить на ТЕС, як уже було показано вище (формула (31)), дорівнюють $e'_{вуг.ум.с} = 1,66$ МДж/кг у.п.

Необхідно також прийняти зміни у питомих витратах палива на виробництво електроенергії на ТЕС України. Якщо у 2010 р. цей показник був 0,3835 кг у.п./(кВт·год), то, з урахуванням того, що до 2030 р. за прогнозом попередньої Енергетичної стратегії України на період до 2030 року [9] цей показник прогнозувався на рівні 0,345 кг у.п./(кВт·год), а нові прогнози невідомі, приймаємо, що через 30 років, тобто у 2040 р. питомі витрати будуть ще нижчими і становитимуть 0,34 кг у.п./(кВт·год). Таким чином, отримуємо приблизне середнє значення у $\sim 0,362$ кг у.п./(кВт·год) за весь період. І тоді середня опосередкована енергоємність електроенергії з вугільних ТЕС буде:

$$e_{e,e} = 1,66 \cdot 0,362 \approx 0,6 \text{ МДж/(кВт·год)}. \quad (32)$$

Слід зауважити, що так само, як і при оцінці енергоємності вугілля, при визначенні енергоємності електроенергії необхідно визначитись з непрямыми енергетичними витратами, а саме з витратами енергії на основні виробничі фонди ТЕС, амортизаційні відрахування від цих фондів, витрати енергії на поточні та капітальні ремонти цих фондів, витрати енергії на оплату праці, оплату податків та зборів, отримання прибутків, на інші потреби. І тому повні енергетичні витрати на отриману від ТЕС електроенергію будуть значно більшими. Наскільки саме більшими – буде визначено у подальших розробках. Для оцінок цшеї статті приймаємо коефіцієнт збільшення, як і для вугілля, рівним 2. І тоді розрахункова енергоємність електроенергії від українських вугільних ТЕС у період 2010–2040 рр., з урахуванням формули (31), становитиме величину

$$e'_{v.e.e} = 0,6 + 0,3 = 0,9 \text{ МДж/(кВт·год)}. \quad (33)$$

Таким чином, витрачена у процесах виробництва будь-чого (крім виробництва електроенергії на електростанціях) електроенергія, з урахуванням того, що 1 кВт·год = 3,6 МДж, повинна враховуватися за енерговитратами:

$$e_{e,e} = 3,6 + 0,9 = 4,5 \text{ МДж/(кВт·год)}. \quad (34)$$

Питома енергоємність заробітної плати. Частка у структурі ВВП, що пішла на оплату праці найманих працівників у 2010 р., становила 49,7% [3], енергоємність ВВП – 0,172 кг у.п./грн. Коефіцієнт зниження енергоємності ВВП за 30 років за сценарієм [9] із щорічним зменшенням енергоємності приблизно на 4% становитиме 0,294, що дає розрахункову енергоємність ВВП у 2040 р. 0,051 кг у.п./грн. Беручи середнє значення цих крайніх величин, отримуємо питомі енерговитрати на зарплатню в Україні за цей період у цінах 2010 р.:

$$e'_z = 29,3 \cdot 10^6 \cdot 0,497 \cdot (0,172 + 0,051)/2 = 1,624 \cdot 10^6 \text{ Дж/грн} = 1,624 \text{ МДж/грн}. \quad (35)$$

Питома енергоємність прибутків. За таким самим алгоритмом, як і при визначенні питомих енерговитрат на заробітну платню, визначимо питомі енерговитрати на прибутки. Частка прибутків у структурі ВВП у 2010 р. дорівнювала 40% [3]. Таким чином, питомі енерговитрати на прибутки за час роботи енергетичного об'єкта впродовж 30 років будуть:

$$e'_{pr} = 29,3 \cdot 10^6 \cdot 0,4 \cdot (0,172 + 0,051)/2 = 1,31 \cdot 10^6 \text{ Дж/грн} = 1,31 \text{ МДж/грн}. \quad (36)$$

Питома енергоємність податків. Частка податків у структурі ВВП у 2010 р. дорівнювала 11,8% [3]. Таким чином, питомі енерговитрати на податки за час роботи об'єкта впродовж 30 років:

$$e'_{pod} = 29,3 \cdot 10^6 \cdot 0,118 \cdot (0,172 + 0,051)/2 = 0,386 \cdot 10^6 \text{ Дж/грн} = 0,386 \text{ МДж/грн}. \quad (37)$$

Визначення коефіцієнтів зниження витрат при масштабуванні об'єктів. При збільшенні потужності електростанції питома її вартість в цілому знижується. Знижуватися будуть і повні енергетичні витрати у електростанцію.

У відповідності з дослідженнями [10] зниження питомих капіталовкладень відбувається на ~20% при подвоєнні потужності енергооб'єкта. Легко можна показати, що за таких умов для випадку визначення повних витрат енергії на будівництво електростанції (ця тенденція можлива і для певних статей експлуатаційних витрат), загальні витрати енергії в n однакових енергоблоків можуть визначатися за формулою:

$$E_{\Sigma n} = nE_{b1} 1,2^{1,443 \ln \frac{1}{n}}, \text{ Дж}, \quad (38)$$

де E_{b1} – повні енергетичні витрати у базову першу установку (енергоблок), або у статтю витрат для базової першої установки (енергоблока), Дж.

При зміні величини зниження затрат – наприклад, зниження прогнозується не на 20%, а на 10%, у формулі (38) змінюється коефіцієнт з 1,2 на 1,1.

З використанням викладеної вище методології було проведено комплекс розрахунків з визначенням повних енергетичних витрат на енергію, отриману від різних енергетичних об'єктів (ТЕС, АЕС, сонячні електростанції, різні види біопалива для ДВС, теплонасосні станції, котельні на різних видах палива). У зв'язку з великим обсягом матеріалів та одержаної інформації їх викладення в межах цієї статті неможливе. Зазначені результати плануються автором представити у подальших публікаціях.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновані деталізовані методики визначення повних енергетичних витрат в окремі компоненти електростанцій різного типу, що полегшує аналіз енергетичної ефек-

тивності таких електростанцій за методологією повних енергетичних витрат.

2. Запропоновані методики визначення окремих важливих констант, без яких неможливо визначати чисельні значення повних енергетичних витрат у окремі компоненти енергоустановок різного типу.

1. Білодід В.Д., Куц Г.О., Сизоненко В.П., Маляренко О.Є., Симборський А.І., Тарасенко П.В., Станиціна В.В. Дослідження загальних техніко-економічних характеристик використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії: звіт про НДР (заклучн.). Білодід В.Д. (наук. кер.). К.: Інститут загальної енергетики НАН України, 2009. 336 с. ДР №0107U001054. ДО №0210U000162.

2. Білодід В.Д. Оцінювання ефективності енергетичних технологій за методологією визначення повних енергетичних витрат. *Проблеми загальної енергетики*. 2012. № 3 (30). С. 12—18.

3. Жук І.М. (ред.). Статистичний щорічник України за 2015 рік. К.: Державна служба статистики України, 2016. 575 с.

4. Key World Energy Statistics 2012. Paris: IEA, 2012. 80 p.

5. Меньшиков В.Ф. Россия с атомной энергетикой или без неё. Россия в окружающем мире: 1998 г.: аналит. ежегодник. Н.Н. Моисеев, С.А. Степанов (ред.). Москва: Международный независимый эколого-политологический университет, 1998. 313 с. (С. 119—149).

6. Білодід В.Д., Кулик М.М., Маляренко О.Є., Сизоненко В.П., Станиціна В.В. та ін. Розробка методичних рекомендацій для аналізу та співставлення енергоефективних технологій та проектів: звіт про НДР (заклучн.) згідно із договором № 10151236000 від 07.12.12 з Міненерговугілля України. Білодід В.Д. (наук. кер.). К.: Інститут загальної енергетики НАН України, 2013. 224 с. ДР №0112U008382. ДО №0214U001109.

7. Результати використання палива, теплоенергії та електроенергії за 2014 рік. К.: Державна служба статистики України, 2015. 63 с.

8. Транспорт і зв'язок України 2015: статистичний збірник. К.: Державна служба статистики України. 2015. 186 с.
9. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071).
10. Шурчков А.В., Белодед В.Д., Крупевич Т.Г., Василик И.И. Математическое моделирование и технико-экономическая оптимизация технологических схем геотермальных электростанций с принудительной циркуляцией теплоносителя через проницаемые коллектора: отчёт о НИР (промеж.). 13-ШБ. Провести исследования технологии извлечения и использования геотермальной энергии на опытных ГеоТЭС и опытных системах геотермального теплоснабжения. Шурчков А.В., Белодед В.Д. (научн. рук.). К.: Институт технической теплофизики АН УССР, 1986. 115 с. ГР № 0186.0083866. Инв. №0287.0051580.

Надійшла до редколегії 15.08.2017.