

УДК 620.92

**О.Є. МАЛЯРЕНКО**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ORCID: 0000-0001-5882-916X

**В.В. СТАНИЦІНА**, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-1005-6185

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

## УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНОЇ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОДУКЦІЇ ДЛЯ БАГАТОПРОДУКТОВИХ ВИРОБНИЦТВ

*У статті представлено удосконалену методику визначення повної енергоємності продукції та послуг, яка, на відміну від чинного ДСТУ 3682–98, включає розширені та уточнені алгоритми визначення прямої та технологічної енергоємності продукції з наданням коефіцієнтів розподілу спільних енерговитрат для багатопродуктових виробництв, нові алгоритми визначення складових повної енергоємності: трудовитрат та основних виробничих фондів, уточнену методику оцінки повної енергоємності природоохоронних заходів. Представлена методика надає можливість визначати показники прямої, технологічної та повної енергоємності продукції, враховуючи технологічне переозброєння виробництв та порівнювати відповідні показники до та після модернізації на різних ієрархічних рівнях (технологія, завод, країна).*

*К л ю ч о в і с л о в а* : енергоємність продукції, технологія, пряма енергоємність, повна енергоємність, розподіл спільних енерговитрат.

Повна енергоємність продукції, робіт і послуг як показник енергетичної ефективності була запропонована у Державному стандарті [1], введеному в дію 1999 р. Деякі складові повної енергоємності продукції, що приведені у стандарті, досі не мають чітких алгоритмів їх визначення. З часу прийняття стандарту розвитком цієї методики займалися науковці Інституту загальної енергетики НАН України. Зміни та доповнення до методичних положень приведено у роботах Куца Г.О. [2], Маляренко О.Є. [3], Станиціної В.В. [4]. Так, Куцом Г.О. було адаптовано загальну методику визначення повної енергоємності продукції для виробництв чорної металургії, доповнено складову енергоємності енергоресурсів алгоритмами обчислення економії енергоресурсів шляхом використання на підприємствах вторинних енергетичних ресурсів різного типу: горючих, теплових, надлишкового тиску [2]. Треба зауважити, що, хоча представлена у [2] методика має неточність щодо математичного запису (згідно представленої формули додаються величини, які діляться не завжди на однакову величину), у розрахунках складались усі енерговитрати, які разом ділились на обсяг виробництва. Маляренко О.Є. адаптувала загальну методику ДСТУ 3682–98 для визначення повної енергоємності нафтопродуктів, запропонувавши алго-

ритм розподілу спільних енергетичних витрат на низку фракцій нафти, що утворюються в одному технологічному процесі, а також вперше оцінила екологічну складову повної енергоємності нафтопродуктів [3]. Станиціна В.В. розробила окрему методику визначення повної енергоємності природоохоронних заходів, яка враховує енергетичні витрати на очищення викидів, скидів та твердих відходів, і оцінила зазначені енерговитрати для низки енергоємних виробництв: виробництва коксу, доменного (чавун), цементного, генерації електричної енергії на тепловій електростанції [4]. Розвиток методу визначення повних енергетичних витрат представлено у роботі Білодіда В.Д. [5], який запропонував розгорнутий підхід для визначення енергетичних витрат на створення, експлуатацію і ліквідацію енергетичного об'єкта, зокрема розширивши визначення енергоємності основних виробничих фондів.

Визначенню енергоємності металургійної продукції на різних ієрархічних рівнях (по прямих витратах, цехова, заводська наскрізна, галузева наскрізна або повна металургійна) присвячена робота науковців УкрГНТЦ «Енергосталь» (м. Харків) [6]. У ній розглядаються особливості формування статистичної звітності з енерговитрат у металургійному виробництві та обґрунтовується для проведення аналізу енергетичної ефективності виробництва

© О.Є. МАЛЯРЕНКО, В.В. СТАНИЦІНА, 2021

необхідність врахування не тільки прямих енерговитрат, що надаються у статзвітності, а ще й непрямих, що уречевлені у виробництві енергоносіїв, напівфабрикатів та інших додаткових витратах, без яких металургійне виробництво не функціонує.

Огляд публікацій щодо розвитку енергетичного аналізу з використанням показника повної енергоємності продукції детально висвітлено у роботі Панченка Г.Г. [7], який є співавтором ДСТУ 3682–98. Зокрема показано, що проблемою оцінки повної енергоємності продукції займаються також в інших країнах світу [8–10].

Існують стандарти та численні публікації з цього напрямку досліджень [11–27]. Широке застосування показника енергоємності обумовлює існування різних назв та його видів [19]: енергоємність виробництва продукції [2, 3], технологічна енергоємність продукції [12], заводська, цехова і повна цехова енергоємність [6, 11], пряма енергоємність [14,15], галузева наскрізна енергоємність або повна металургійна енергоємність [6], кумулятивна енергія [8–10], технологічне паливне число (ТПЧ) [22] та повна енергоємність [1].

Науковою новизною представленої роботи є доповнення та розширення методики визначення повної енергоємності продукції, робіт та

послуг новими та удосконаленими алгоритмами складових повної енергоємності продукції багатопродуктових виробництв, що дозволить більш широко використовувати цей показник в аналізі енергоефективності різних видів виробництв. Удосконалена методика, що пропонується, є універсальною і може бути використана для одно- та багатопродуктових виробництв.

З точки зору енергетичного аналізу, найбільш методично правильним, на наш погляд, є термін «повна енергоємність продукції, робіт, послуг» та його визначення в [1] – відношення повних енерговитрат на виробництво продукції, робіт та послуг (енерговитрати, що враховані на всіх етапах виробництва, включаючи видобування, переробку, транспортування, зберігання вихідної продукції, сировини та матеріалів, а також енерговитрати на технологічні процеси виробництва продукції, робіт та послуг і захист навколишнього середовища від шкідливого впливу відходів виробництва продукції, робіт та послуг) до обсягу їхнього виробництва.

У табл. 1 надано складові повної енергоємності, що увійшли до ДСТУ 3682–98, з алгоритмами їх визначення та змінами в розрахункових формулах, що запропоновані у наукових публікаціях [2–5, 11–20].

**Таблиця 1.** Порівняльний аналіз алгоритмів розрахунку складових повної енергоємності продукції на рівні виробництва та підприємства

Показник	Алгоритми визначення, згідно ДСТУ 3682–98 [1]	Алгоритми, які опубліковано в наукових публікаціях
Існуючі в ДСТУ 3682–98 складові		
$e$ – повна енергоємність продукції, робіт, послуг	Загальний підхід: $e = e_e + e_m + e_\phi + e_p + e_o$	Багатопродуктове виробництво за послідовним ланцюгом (по переділах – металургійний завод, коксохімічний завод) [2]: $e = \left[ E_{np} - (B_{вер} + Q_{вер} + W_{вер}) \right] / N_{np} - \sum_k E_{вмрк} / N_{вмрк} + m_{см} \sum_j E_{смj} / N_{смj} + m_{ен} \sum_i E_{енi} / N_{енi} + \sum_z \sum_p E_{мпzp} / N_{мпzp} + \sum_l K_a e_{\phi_l} + e_{нс} + e_p + e_{ин}$ Багатопродуктове виробництво за послідовно-незалежними ланцюгами – нафтопереробний завод [3]: $e_k^{нр} = \sum (m_{фр,к}^{нр} / m_k^{нр}) \left[ (m_{фр,к}^{нр} / m_{наф}) (e_{наф}^{доб} + e_{мп}^{нр} + e^{нр}) + e_k^{гм} + \sum (m_{мп,i}^{зл} / m_{сир}^{зл}) e_i^{зл} \right] + (m_k^{нр} / m_{наф}) (e_{овф} + e_{ос})$

Показник	Алгоритми визначення, згідно ДСТУ 3682–98 [1]	Алгоритми, які опубліковано в наукових публікаціях
Існуючі в ДСТУ 3682–98 складові		
<p><math>e_e</math> – повна енергоємність енергоресурсів, необхідних для виробництва продукції</p>	$e_e = e_n + e_{mp} + e_z + e_{imn};$ $e_n = \sum_s e_s (b_{n_s} + \sum a_{n_i} b_{nis});$ $e_{mp} = \sum_i \sum_l a_{m_{il}} e_{m_{il}};$ $e_z = \sum_i a_{z_i} e_{z_i};$ $e_{imn} = \sum_s b_{is} (V_{is} (1 + k_{ns}) e_v - e_s)$	<p>Рівень виробництва (пряма технологічна) [14]:</p> $e_{nmex} = \sum_{n=1}^3 e_n = b + k_q q + k_w w$ <p>Рівень виробничого цеху (пряма цехова) [14]:</p> $e_{eu} = e_{nmex} + e_{don},$ $e_{don} = \sum_n \sum_c a_n e_{nc} = \sum_n a_n (b + k_q q + k_w w)$ <p>Рівень заводу (пряма заводська) [14]:</p> $e_e = e_{ep} + e_{en} - e_{BEP};$ $e_{BEP} = \sum_d e_{TEP_d} + \sum_g e_{TEP_g} + e_{EEP}$
<p><math>e_m</math> – повна енергоємність сировини і матеріалів, необхідних для виробництва продукції</p>	$e_m = e_{mv} + e_{mj} + e_n$	$e_{cup} = \sum_i (e_{vidi} + e_{mri}) \quad [14]$
<p><math>e_\phi</math> – повна енергоємність основних виробничих фондів (ОВФ), амортизованих при виробництві продукції</p>	$e_\phi = \sum a_{\phi i} e_{\phi i}$	$e_\phi = K_a^t \sum_l S_{\phi l} U_{y.l}^t$
<p><math>e_p</math> – повна енергоємність відтворення робочої сили при виробництві продукції</p>	$e_p = a_3 e_3$	$e_z = e_z' F_{3n} \quad [5]$ $e_z' = 0,0293 \gamma_t \frac{B_{p.r}}{12 z_s k_v n} \quad [5]$ $e_z' = 29,3 \cdot 10^6 e_z e_{BPI} \quad [5]$
<p><math>e_o</math> – повна енергоємність охорони навколишнього природного середовища при виробництві продукції</p>	$e_o = \sum a_{oi} e_{oi}$	$e_i^{nc} = e_i^{вук} + e_i^{ctок} + e_i^{вiдx} \quad [4]$ $e^{вук} = \beta \sum_f a^{вук} W_f^{вук'} + \beta \sum_g a^{вук} b_g^{вук} W_g' + \sum_r a^{вук} g_{xp_r} e_{xp_r} +$ $+ \sum_z a^{вук} c_{вук_z}^{вiдx} \left( \frac{\gamma B_{вук_z}^{вiдx}}{V_{вук_z}^{вiдx}} + e_z^{вiдx} \right),$ $e^{ctок} = \beta \sum_n \sum_s b_s^{ctок} W_{ns}' + \beta \sum_m \sum_s b_s^{ctок} (W_{ms}' + f_{ms} W_{fs}') +$ $+ \sum_l \sum_s b_s^{ctок} g_{xp_l} e_{xp_l} + b_s^{ctок} c_{ctок}^{вiдx} (W_{ctок}' + e_{ctок}^{вiдx}),$ $e^{вiдx} = \sum_p d_p^{вiдx} \left( \frac{\gamma B_p^{вiдx}}{V_p^{вiдx}} + e_p^{вiдx} \right)$
Нові складові		
<p>Повні енерговитрати на продукцію, що експортується</p>	<p>немає</p>	$E_v = \sum_f A_f e_f \quad [17]$

Показник	Алгоритми визначення, згідно ДСТУ 3682–98 [1]	Алгоритми, які опубліковано в наукових публікаціях
Існуючі в ДСТУ 3682–98 складові		
Енерговитрати на оплату податків і загальнодержавних зборів	немає	$E_{pod} = e'_{pod} P \tau \quad [5]$ $e'_{pod} = 0,0293 \gamma_t \frac{B_{p,r}}{\sum \Pi}$
Повні енерговитрати на будівництво енергетичного об'єкту	немає	$E_{bud_2} = E_{baz} + E_{b,r} + E_{obl} + E_{n,r} \quad [5]$
Витрати на паливо для експлуатації енергетичного об'єкту	інше трактування	$E_p = N \tau_u b_p \tau e_p \quad [5]$ $e_p = e_{oob} + e_{zbaz} + e_{mp}$
Витрати енергії на відтворення енергетичного об'єкту після закінчення терміну експлуатації	немає	$E_a = \alpha_a E_{kap} k_{pr} \tau + E_l \quad [5]$
Енерговитрати на ліквідацію енергетичного об'єкту	немає	$E_l = \mu_l E_{\text{в\textcircled{y}}d} \quad [5]$

### Розвиток методики визначення прямої та повної енергоємності продукції на різних ієрархічних рівнях виробництва

Автори пропонують внести зміни у визначення показників прямої та повної енергоємності шляхом удосконалення алгоритмів їх розрахунку та запровадження коефіцієнта розподілу спільних енерговитрат у багатопродуктових енергоємних виробництвах, а також ввести термін «повна заводська енергоємність», визначення якої буде надано нижче.

Пропонується для різних ієрархічних рівнів використовувати наступні показники енергетичної ефективності:

- пряма енергоємність продукції [15] – на рівні технологічного агрегату або цеху (залежно від особливостей виробництва);
- технологічна енергоємність продукції, що охоплює технологічний процес на окремому ланцюгу виробництва продукції в межах цеху чи групи цехів (залежно від особливостей виробництва);
- повна заводська енергоємність продукції (за класифікацією, що надана у ДСТУ 3740–98 [11]) – на рівні заводу;
- повна енергоємність продукції – на рівні країни в цілому.

**Пряма енергоємність** – це сумарні витрати енергоресурсів (палива, тепло- та електроенергії) на виробництво продукції, що переведені в однакові одиниці виміру та віднесені до обсягу виробництва продукції або наданих послуг. Пряма

енергоємність продукції на рівні *технологічного агрегату чи цеху* (коксова батарея, доменна піч) включає лише прямі технологічні витрати на роботу агрегатів:

$$e'_{np.s.} = \sum_{n=1}^3 e_n^t = b_n^t + k_q^t q_n^t + k_w^t w_n^t, \quad (1)$$

де  $b_n^t$ ,  $q_n^t$ ,  $w_n^t$  – відповідно, питомі витрати палива, теплової енергії, електроенергії в технологічних агрегатах, приведені до однакових одиниць виміру (кг у.п., кг н.е., ін.),  $k_q^t$  – коефіцієнт перерахунку в умовне паливо теплової енергії за формою статистичної звітності 11-МТП за  $t$  рік,  $k_w^t$  – коефіцієнт перерахунку в умовне паливо електроенергії за формою статистичної звітності 11-МТП за  $t$  рік для відповідних видів економічної діяльності.

Якщо в технологічному агрегаті використовуються вторинні енергетичні ресурси (ВЕР), то утворюється економія паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) шляхом більш повного використання теплоти палива:

$$e'_{np.s.} = \sum_{n=1}^3 e_n^t - e'_{BEP}, \quad (2)$$

де  $e'_{BEP}$  – енергоємність вторинних енергоресурсів.

У чинному ДСТУ [1] при визначенні енергоємності енергоресурсів (прямої енергоємності) враховується лише використана енергія горючих ВЕР (відхідних газів нагрівальних печей), але алгоритм її визначення є нечітким. На підприємствах, зокрема, металургійного, хімічного, нафтохімічного, нафтопереробного профілю

дуже ефективно використовують, крім горючих, ще й інші види ВЕР: теплові (теплова енергія нагрітих продуктивних потоків, відпрацьованої пари) та надлишкового тиску (енергія, що виділяється при зниженні тиску природного газу). У роботі [2] авторами ІЗЕ НАН України запропоновано алгоритми визначення енергоємності усіх складових ВЕР, використання яких знижує енергоємність виробництва власних енергоресурсів і споживання первинного палива шляхом більш повного його використання. Загальна формула розрахунку складової енергоємності ВЕР виглядає, згідно [2], так:

$$e_{VER}^t = \sum_d e_{GEP_d}^t + \sum_g e_{TEP_g}^t + e_{EEP}^t, \quad (3)$$

де  $e_{GEP_d}^t$ ,  $e_{TEP_g}^t$ ,  $e_{EEP}^t$  – відповідно, енергоємності горючих (ГЕР), теплових (ТЕР) та вторинних енергоресурсів надлишкового тиску (ЕЕР), що використовуються на підприємствах для заміщення палива, виробництва теплової енергії та додаткового виробництва електричної енергії.

Розрахунок енергоємності *горючих вторинних енергоресурсів* згідно [2]:

$$e_{GEP_d}^t = \left( Q_{nd}^p V_{GEP_d}^t / Q_y \right) / V_{прод}^t, \quad (4)$$

де  $Q_{nd}^p$  – теплота згоряння  $d$ -го горючого газу (з теплофізичного довідника або за експериментальними даними);  $V_{GEP_d}^t$  – обсяг виходу  $d$ -го виду ГЕР за  $t$  рік (з додатку 1 до форми 11-МТП);  $Q_y$  – теплота згоряння умовного палива (7000 ккал/кг).

Розрахунок енергоємності *теплових вторинних енергоресурсів* здійснюється, згідно [2], за формулою:

$$e_{TEP_g}^t = b_q^t \left( H_{1g} - H_{2g} \right) V_{TEP_g}^t \beta^t L / V_{прод}^t, \quad (5)$$

де  $b_q^t$  – усереднена питома витрата палива на виробництво теплової енергії в енергетичній системі з форми статистичної звітності 11-МТП за  $t$ -ий рік;  $H_{1g}$ ,  $H_{2g}$  – відповідно, ентальпії енергоносіїв при відповідних параметрах температури  $T_1$  і тиску  $P_1$  на виході з технологічного агрегату та з параметрами  $T_2$  і  $P_2$  – з утилізаційної установки;  $V_{TEP_g}^t$  – обсяг виходу  $g$ -го виду теплових ВЕР за даними додатку 1 до форми 11-МТП за  $t$ -ий рік;  $\beta^t$  – коефіцієнт невідповідності режиму і числа годин роботи утилізаційної установки (УУ) і технологічного агрегату (ТА) у  $t$ -му році, який розраховується як відношення річного обсягу годин роботи УУ до річного обсягу годин роботи ТА – джерела теплових ВЕР;  $L$  – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти від утилізаційної установки в навколишнє середовище (приймається  $L = 0,8-0,9$ );  $V_{прод}^t$  – обсяг виробництва продукції за видами економічної діяльності (ВЕД).

Розрахунок енергоємності *ВЕР надлишкового тиску* згідно [2] визначається так:

$$e_{EEP}^t = b_w^t W_y^t / V_{прод}^t, \quad (6)$$

де  $b_w^t$  – усереднена питома витрата палива на виробництво електроенергії в енергетичній системі з форми 11-МТП за  $t$ -ий рік;  $W_y^t$  – обсяг відпуску електроенергії за  $t$ -ий рік (форма 11-МТП, розділ 3).

Якщо частина палива, що спалюється в технологічному агрегаті або енергетичній установці, заміщується ВЕР, що утворились в іншому агрегаті (на попередньому переділі), то формула (2) прийме вигляд:

$$e_{нр.е.}^t = \sum_{n=1}^3 e_n^t - e_{VER}^t = \left( \frac{B^t + \sum_d k_{ym}^t V_{GEP_d}^t + k_q^t Q^t + \sum_g k_q^{meop} V_{TEP_g}^t + k_w^t W^t + k_w^{meop} W_y^t}{V_{прод}^t} \right), \quad (7)$$

де, крім приведених раніше позначень,  $B^t$ ,  $Q^t$ ,  $W^t$  – відповідно, витрати палива, теплової та електричної енергії на виробництво продукції у  $t$ -му році;  $k_{ym}^t$  – коефіцієнт переведення органічного палива з  $Q_{nd}^p$  в умовне паливо;  $k_q^{meop}$  – теоретичний коефіцієнт переведення теплової енергії в умовне паливо,  $k_q^{meop} = 0,143$  кг у.п./Мкал;  $k_w^{meop}$  – теоретичний коефіцієнт переведення електричної енергії в умовне паливо,  $k_w^{meop} = 0,123$  кг у.п./кВт·год.

Розподіл прямої енергоємності у багатопродуктових виробництвах пропонується виконувати за методичними підходами, що наведені нижче.

**Розподіл спільних енерговитрат у багатопродуктовому виробництві.** У багатопродуктових виробництвах для формул (1)–(7) має виконуватись розподіл спільних енерговитрат на низку продукції, що виробляється в одному технологічному агрегаті. Найбільш яскравим прикладом, що потребує розподілу цих витрат є первинна переробка нафти. У роботі [3] проаналізовано існуючі методи оцінки енергоефективності процесів нафтопереробки на основі укрупнених балансів (енергетичного, теплового та ексергетичного) основних технологічних установок з використанням різних способів розподілу спільних енерговитрат (табл. 2) [3].

Існує ще підхід до розподілу спільних енерговитрат пропорційно до ентальпії нагрітих продуктивних потоків у точці їх розділення [23, 24], але для паливних продуктів (з нафти, вугілля, газу) доцільно використовувати більш простий спосіб – пропорційно масі та теплотворній здатності отриманих палив [15, 23, 24]. Цей підхід (3-й стовпець «Розподілу...» табл. 2) був апробований на прикладі коксохімічного виробництва [14, 15], що дозволило обчислити енергоємності виробництва чотирьох хімічних про-

Таблиця 2. Коефіцієнти розподілу спільних енерговитрат на низку вихідних фракцій первинної переробки нафти [3]

Фракції первинної переробки	Розподіл енерговитрат пропорційно до:			
	маси вихідних фракцій ( $m_i$ )	теплотворної здатності фракцій ( $Q_{pi}^H$ )	маси та теплотворної здатності фракцій ( $m_i Q_{pi}^H$ )	ексергії фракцій на виході з установки ( $Ex_i$ )
Газ	0,011	0,267	0,013	0,096
Бензин	0,242	0,253	0,254	0,161
Дизпаливо	0,281	0,247	0,287	0,343
Мазут	0,458	0,233	0,446	0,400

дуктів, які виробляються як побічні, при очищенні коксового газу. При проведенні енергетичного аналізу, залежно від поставленої мети, потрібно обґрунтувати використаний метод розподілу.

Окремим методичним питанням розподілу спільних енерговитрат є визначення технологічної та повної енергоємності електричної та теплової енергії за ланцюгом технологічного виробництва та повними енергетичними витратами (видобування і транспортування палива, власні потреби станції, забір та підготовка хімічно очищеної води, природоохоронні заходи, зберігання та вивезення відходів, основні виробничі фонди, трудовитрати, ін.). Підхід до обчислення технологічної енергоємності енергоресурсів надано у публікації [20], а розподіл спільних енерговитрат доцільно виконувати за даними [18].

Технологічна енергоємність включає, крім прямих енерговитрат, ще й непрямі (енерговитрати на виробництво енергоносіїв –  $e_{ен}^t$  (електричної і теплової енергії на підприємстві, кисню, хімічно очищеної води, повітря для дуття, ін.), що необхідні для технологічного процесу, підготовку сировини –  $e_{см}^t$  (сушка або розмороження сировини, підготовка шихти, агломерація вугілля, знесолення нафти для переробки, виробництво на підприємстві напівфабрикатів тощо), природоохоронні витрати, що необхідні для функціонування технології згідно вимог законодавства –  $e_{нс}^t$  (енерговитрати на очищення відхідних газів та стічних вод, поводження з відходами):

$$e_{mex}^t = \sum_{n=1}^3 e_n^t + e_{ен}^t + e_{см}^t + e_{нс}^t. \quad (8)$$

Для багатопродуктових виробництв при розрахунку технологічної енергоємності продукції в загальному вигляді застосовується обраний коефіцієнт розподілу і формула (8) матиме вигляд [20]:

$$e_{mex}^t = k_i^n \sum_i e_{см_i} \left( b_{np,s} + \sum_j a'_{дон_j} b'_{дон_j} \right) + e_{нс_i}^t, \quad (9)$$

де  $k_i^n$  – коефіцієнт розподілу, обраний для  $i$ -го технологічного ланцюга багатопродуктового виробництва,  $e_{см}$  – енергоємність сировини,  $b_{np,s}$  – пито-

мі витрати палива та енергії (питомі прямі енерговитрати),  $b'_{дон_j}$  – непрямі питомі енерговитрати на виробництво енергоносіїв,  $a'_{дон_j}$  – коефіцієнт допоміжних непрямих витрат у загальних непрямих витратах,  $e_{нс_i}^t$  – енергоємність охорони довкілля при функціонуванні  $i$ -ої технології багатопродуктового виробництва.

Енергоємність енергоносіїв ( $e_{ен}^t$ ) визначається за [1]. Енергоємність сировини і матеріалів ( $e_{см}^t$ ) пропонується визначати за такою формулою [14]:

$$e_{см}^t = \sum_i e_{см_i}^t, \quad (10)$$

де  $e_{см_i}^t$  – енергоємність переробки та підготовки сировини та вихідних матеріалів, напівфабрикатів, використаних безпосередньо у технологічному процесі, обчислюється за формулою (1).

**Розвиток методики визначення енергоємності природоохоронних заходів.** У роботі [4] розроблено окрему методику визначення повної енергоємності природоохоронних заходів у промислових виробництвах. З урахуванням підходу до розподілу спільних енерговитрат, екологічна складова повної енергоємності, що є сумою трьох складових:

$$e_{нс_i}^t = e_{вук_i}^t + e_{сток_i}^t + e_{відх_i}^t, \quad (11)$$

визначається за модифікованими формулами:

- енергоємність очищення викидів:

$$e_{вук_i}^t = k_i^n \left( \beta \sum_k a^{вук} W_k^{вук} + \beta \sum_i a^{вук} b_i^{вук} W_i' + \sum_r a^{вук} g_{xp_r} e_{xp_r} + \sum_z a^{вук} c_{вук_z}^{відх} \left( \frac{\gamma B_{вук_z}^{відх}}{V_{вук_z}^{відх}} + e_z^{відх} \right) \right); \quad (12)$$

- енергоємність очищення скидів:

$$e_{сток_i}^t = k_i^n \left( \beta \sum_n \sum_s b_s^{сток} W_{ns}' + \beta \sum_m \sum_s b_s^{сток} (W_{ms}' + f_{ms} W_{f_{ms}}') + \sum_l \sum_s b_s^{сток} g_{xp_{ls}} e_{xp_{ls}} + b_s^{сток} c_{сток}^{відх} (W_{сток}' + e_{сток}^{відх}) \right); \quad (13)$$

- енергоємність знешкодження твердих відходів:

$$e_{відх_i}^t = k_i^n \sum_p d_p^{відх} \left( \frac{\gamma B_p^{відх}}{V_p^{відх}} + e_p^{відх} \right). \quad (14)$$

Коефіцієнти розподілу у формулах (11)–(14) визначаються відповідно до технології очищення викидів, скидів, знешкодження відходів та оцінюються для кожного багатопродуктового виробництва індивідуально з урахуванням технологічної схеми та схеми очищення викидів, стоків, збирання відходів від певного продукту.

**Повна енергоємність продукції.** На заводському рівні пропонується ввести показник «повна заводська енергоємність продукції», в розрахунок якого включаються технологічна енергоємність за формулою (8), енергоємність основних виробничих фондів (ОВФ), енергоємність трудовитрат, внутрішньозаводський транспорт, що є невід'ємною частиною забезпечення технологічного процесу на підприємстві (прокачування сировини та напівпродуктів трубопроводами, подавання конвейерами та норіями), допоміжний електро-, автомобільний та залізничний транспорт в межах підприємства. Витрати на комунально-побутові потреби цехів і заводу нормуються окремо і в енергоємність продукції усіх видів не входять. Повну заводську енергоємність пропонується визначати так:

$$e_{nz}^t = e_{mex}^t + e_z^t,$$

для багатопродуктових виробництв:

$$e_{nz}^t = k_i^n (e_{mex}^t + e_z^t), \quad (15)$$

де  $e_z^t$  – енергоємність допоміжних загальнозаводських енерговитрат за формулою:

$$e_z^t = e_{ОВФ}^t + e_{трудо}^t + e_{змп}^t, \quad (16)$$

де  $e_{ОВФ}^t$ ,  $e_{трудо}^t$ ,  $e_{змп}^t$  – відповідно, енергоємність основних виробничих фондів, енергоємність трудовитрат, енергоємність внутрішньозаводських перевезень.

Якщо повна енергоємність продукції обчислюється не для конкретного заводу, а для виробництва продукції по країні в цілому (для порівняння з енергоємністю іншої продукції або для міждержавних порівнянь енергоефективності виробництва), то до формули (15) додаються ще складові згідно [1]: енергоємність видобування сировини –  $e_{вид}^t$ , та енергоємність транспортування сировини до підприємства  $e_{мп}^t$ :

$$e_{нов}^t = e_{вид}^t + e_{мп}^t + e_{nz}^t$$

чи

$$e_{нов}^t = k_i^n (e_{вид}^t + e_{мп}^t + e_{nz}^t). \quad (17)$$

Складові енергоємності видобування та транспортування сировини і матеріалів визначаються згідно з [1]. При розрахунку енергоємності продукції за ВЕД по країні потрібно використовувати усереднені по країні питомі витрати енергоресурсів.

**Розвиток методичних підходів до визначення повної енергоємності основних виробничих**

**фондів.** Новий підхід, порівняно із стандартом [1], до обчислення енергоємності ОВФ запропоновано Панченком Г.Г. у роботі [27]. При цьому автором пропонується два підходи до визначення енергоємності основних виробничих фондів: проєктний та експлуатаційний.

При проєктному підході запропоновано таку формулу згідно з [27]:

$$e_{\phi_{ij}}^t = k_i' k_{ij}'' \sum_t E_{\phi}^t / A^{\phi}, \quad (18)$$

де  $k_i'$  – коефіцієнт розподілу повних енерговитрат на ОВФ між  $i$ -ми технологічними процесами;  $k_{ij}''$  – коефіцієнт розподілу загальноцехових і загальнозаводських ОВФ між  $j$ -ми видами продукції в  $i$ -му технологічному процесі;  $E_{\phi}^t$  – повні енерговитрати на проєктування, будівництво, ремонт і ліквідацію ОВФ у  $t$ -му році, обчислюється за методикою [5];  $A^{\phi}$  – обсяги виробництва продукції, на які розраховані ОВФ за весь термін їх експлуатації.

Для імпортного обладнання його вартість визначається через енергетичний еквівалент валюти [26].

При експлуатаційному підході Панченко Г.Г. пропонує наступну формулу [26]:

$$e_{\phi_{ij}}^t = a^t k_i' k_{ij}'' \sum_t E_{\phi}^t, \quad (19)$$

де, крім зазначених вище позначень,  $a^t$  – коефіцієнт амортизації ОВФ у  $t$ -му році, який визначається за [27].

Для багатопродуктових виробництв розрахунок енергоємності продукції виконується для кожного виду продукції з розподілом спільних енерговитрат з точки розподілу продукції з подальшим підсумовуванням енерговитрат по окремих ланцюгах виробництва у відповідності до технології виробництва.

**Розвиток методики визначення повної енергоємності трудовитрат.** Підходи до визначення еквіваленту витрат людської праці детально висвітлено в роботі [7]. Запропонована в [1] методика визначення енергоємності трудовитрат є складною з точки зору отримання вихідної інформації. Панченко Г.Г. у роботі [25] надав нові підходи до оцінки енергоємності трудовитрат, які відрізняються використанням вихідної інформації, що є у відкритому доступі.

Пропонується визначати енергоємність трудовитрат за формулою згідно з [25]:

$$e_p = (V_p / V) (E + E') / F, \quad (20)$$

де  $E$  і  $E'$  – відповідно, повні енерговитрати на виробництво власних енергоресурсів і енергетичний еквівалент імпортованих енергоресурсів (визначається за методикою, наведеною у [26]), які вико-

ристано для енергетичних цілей в Україні, млн т у.п. або ГДж;  $V$  і  $V_p$  – відповідно, загальна вартість вироблених товарів і послуг та кінцеві споживчі витрати, млн грн;  $F$  – фонд оплати праці найманих працівників, млн грн.

Для виключення впливу інфляції та з метою порівняння результатів розрахунків у значно віддалені в часі роки, величину трудовитрат можна розраховувати на одиницю робочого часу [25]:

$$e'_p = e_p V_3 / T_p, \quad (21)$$

де  $V_3$  – середньомісячна заробітна плата, грн /місяць;  $T_p$  – середньомісячний робочий час, люд·год/місяць.

## ВИСНОВКИ

Запропоновано зміни до методики визначення повної енергоємності продукції та її складових та новий термін «повна заводська енергоємність». Удосконалено методичний підхід до визначення: повної енергоємності трудовитрат, який відрізняється новим алгоритмом, що дозволить більш точно врахувати статті доходів населення; повної енергоємності основних виробничих фондів – за рахунок використання вхідних даних, що є у відкритому доступі. Представлено розвиток методики визначення повної енергоємності природоохоронних заходів.

Пропонується визначати повну енергоємність продукції на трьох ієрархічних рівнях: пряму – на рівні технологічного агрегату або цеху; технологічну на рівні технологічного ланцюга виробництва продукції у цеху чи групі цехів; повну заводську, що включає, крім технологічної енергоємності, питомі енерговитрати на створення і утримання основних виробничих фондів, енергоємність трудовитрат, енергоємність внутрішньозаводських перевезень, – на рівні заводу; повну енергоємність продукції, яка містить складові повної заводської енергоємності, енергоємність видобування та транспортування сировини до підприємства, – на рівні країни в цілому. Для кожного рівня виробництва виділено перелік відповідних енергетичних витрат.

Розширено та удосконалено алгоритм визначення прямої енергоємності шляхом введення складової енергоємності вторинних енергоресурсів та коефіцієнта розподілу спільних енерговитрат. До складу технологічної енергоємності продукції включено, крім енергоємності енергоносіїв та сировини, енергоємність природоохоронних заходів з методикою обчислення всіх складових цього показника. Проаналізовано існуючі методи розподілу спільних енерговитрат для багатопродуктових виробництв (нафтопро-

дукти, коксохімічне виробництво, доменне виробництво, комбіноване виробництво енергоносіїв). Зазначено, що методи розподілу спільних енерговитрат мають бути застосовані для всіх складових повної енергоємності у багатопродуктових виробництвах.

1. ДСТУ 3682–98 (ГОСТ 30583–98). Енергозбереження. Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг. К., 1998. 11 с.

2. Гнідий М.В., Куц Г.О., Терещук Д.А. Метод розрахунку повних енергетичних витрат на виробництво продукції. *Екотехнології и ресурсозбереження*. 1997. № 5. С. 67–72.

3. Маляренко О.Є. Методи оцінювання енергетичної ефективності для визначення потенціалу енергозбереження та прогнозування енергоспоживання в процесах нафтопереробки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.01 “Енергетичні системи та комплекси”. Ін-т загальної енергетики НАН України. Київ, 2005. 20 с.

4. Станиціна В.В. Розвиток методу повної енергоємності для визначення показників енергетичної ефективності та потенціалів енергозбереження: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук : спец. 05.14.01 “Енергетичні системи та комплекси”. Ін-т загальної енергетики НАН України. Київ, 2016. 20 с.

5. Білодід В.Д. Оцінювання ефективності енергетичних технологій за методологією визначення повних енергетичних витрат. *Проблеми загальної енергетики*. 2012. Вип. 3(30). С. 12–18. [http://pge.org.ua/index.php?option=com\\_docman&task=art\\_list&mid=20123&gid=30&lang=ua](http://pge.org.ua/index.php?option=com_docman&task=art_list&mid=20123&gid=30&lang=ua)

6. Литвиненко В.Г., Мантула В.Д., Каневський А.Л., Андреева Т.А., Юхнов В.Ю. Оценка энергоэффективности производства на основе анализа сквозной энергоёмкости продукции. *Екологія и промисленість*. 2009. № 2. С. 47–52. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekolprom\\_2009\\_2\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekolprom_2009_2_11)

7. Панченко Г.Г. Огляд стану і перспектив розвитку енергетичного аналізу. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. № 4. С. 48–54.

8. Herendeen R.A. Net Energy Analysis: Concepts and Methods. *Encycl. Energy*. 2004. Vol. 4. P. 283–289.

9. Frischknecht R., Wyss F., Knöpfel S.B., Lützkendorf T. Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 20(7). May 2015.

10. Boopendranath, M.R. and Shahul Hameed, M. Gross energy requirement in fishing operations. *Fishery Technology*. 2013. 50(1). P. 27–35.

11. ДСТУ 3740–98. Енергозбереження. Методи аналізу та розрахунку зниження витрат палива та енергії на металургійних підприємствах. Київ. 1999. 11 с.

12. ГОСТ Р 51750–2001 Энергосбережение. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения. 2002.

13. ДСТУ 7674:2014 Енергозбереження. Енергоємність технологічного процесу вироблення електричної



та теплової енергії, відпущеної тепловою електростанцією. Методика визначення. К., 2014. 34 с.

14. Звіт про НДР. Розробка методів визначення та обрахування показників енергетичної ефективності енергоємних технологій промисловості на базі використання методів повної енергоємності, енергетичного та ексергетичного аналізу. Керівник: В. Білодід; Відпов. викон.: О. Малярєнко, А. Симборський; Викон.: Г. Куц, В. Сизоненко, М. Гнідий, Т. Євтухова, В. Станиціна, ін. ДР№ 0106U009434. ІЗЕ НАН України. Київ, 2009. 209 с.

15. Малярєнко О.Є. Показники енергоекономічного аналізу для визначення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів у багатопродуктових виробництвах промислової продукції. *Проблеми загальної енергетики*. 2010. Вип. 1(21). С. 40—46.

16. Станиціна В.В. Енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища як складова повної енергоємності продукції. *Проблеми загальної енергетики*. 2011. Вип. 4(27). С. 47—52.

17. Малярєнко О.Є., Майстрєнко Н.Ю., Куц Г.О. Прогнозування потреби економіки в енергетичних ресурсах з урахуванням попиту на енергоємні експортно-орієнтовані види продукції. *Проблеми загальної енергетики*. 2015. Вип. 4(43). С. 5—13. <https://doi.org/10.15407/pge2015.04.005>

18. Горський В.В. Вибір методу розподілу спільних повних енергетичних витрат у комбінованому виробництві енергоносіїв на ТЕЦ. *Збірник тез XXXIX науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (м. Київ, 12 травня 2021 р.)*. Київ: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. 2021. С. 26—28.

19. Станиціна В.В. Аналіз методів визначення показників енергетичної ефективності. *ScienceRise*. 2015. № 10. С. 2—15.

20. Maliarenko O., Horski 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. *Studies in Systems, Decision and Control 298*, 201—216. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_13).

21. Мельник Л.Г. Економіка енергетики: підручник. [За ред. Л.Г. Мельника, І.Н. Сотник]. Суми: Університетська книга, 2015. 378 с.

22. Розин С.Е., Щелоков Я.М. Энергетический анализ общественного производства. *Проблемы энергосбережения*. 1991. № 8. С. 49—57.

23. Куц Г.О., Тесленко О.І. Методичні положення щодо розподілу повної технологічної енергоємності між окремими видами продукції багатопродуктових виробництв. *Проблеми загальної енергетики*. 2020. Вип. 4(63). С. 58—62. <https://doi.org/10.15407/pge2020.04.058>

24. Тесленко О.І. Особливості визначення окремих складових частин технологічної енергоємності продуктів коксохімічного виробництва. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Т. 32 (71). Ч. 2, № 1. 2021. С. 38—44. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/07>

25. Панченко Г.Г. Повна енергоємність трудовитрат. Актуальні питання розвитку сучасної економіки, управління та адміністрування: *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 28 грудня 2019 р.)*. Київ: Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, 2019. Ч. 2. С. 43—46. ISBN 978-966-992-002-7.

26. Панченко Г.Г. Повна енергоємність валюти. Актуальні питання розвитку сучасної економіки, управління та адміністрування: *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 28 грудня 2019 р.)*. Київ: Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, 2019. Ч. 2. С. 80—84. ISBN 978-966-992-002-7.

27. Панченко Г.Г. Повна енергоємність основних виробничих фондів. Актуальні питання розвитку сучасної економіки, управління та адміністрування: *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 28 грудня 2019 р.)*. Київ: Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, 2019. Ч. 1. С. 101—104. ISBN 978-966-992-002-7.

Надійшла до редколегії: 25.03.2021