

НАУКОВО - МЕТОДИЧНІ РОЗРОБКИ

УДК 338.551

Г.Г. Панченко

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНОЇ ВУГЛЕЦЕВОЄМНОСТІ ПРОДУКЦІЇ, РОБІТ ТА ПОСЛУГ

Запропоновано методику визначення повної вуглецевої ємності продукції, робіт та послуг, яка може знайти застосування в ході визначення ефективності діяльності щодо скорочення викидів парникових газів, порівнянні альтернативних способів виробництва продукції, розробки вуглецевого балансу країни, підприємства або виду діяльності, а також під час вирішення інших завдань економічного розвитку.

Ключові слова: зміна клімату, парникові гази, повна вуглецевої ємність, продукція, робота, послуги.

Вступ

Проблема зміни клімату на сьогодні знаходиться в центрі громадської уваги, оскільки ця проблема є однією з основних загроз існування людства. Це не означає, що не існує інших загроз – явних чи прихованих. Двадцять років тому в центрі уваги була енергетична криза. Потім – діри в озоновому шарі стратосфери. Як про потенційну загрозу в майбутньому говорять про дефіцит прісної води. Далі може бути зниження вмісту кисню в атмосфері тощо. Але в будь-якому випадку виникає необхідність отримання кількісної оцінки чинників, які дозволяють оцінювати рівень цієї загрози, швидкість наближення до критичних параметрів цих чинників і т. п. Причому, самі чинники багато в чому подібні. Це дає можливість уніфікувати і методи визначення показників, що належать до процесів різної природи. Така уніфікація необхідна для забезпечення порівнянності та прозорості результатів оцінки, виконаної різними експертами та дослідницькими групами.

У цій роботі запропоновано методику визначення повної вуглецевої ємності продукції, робіт і послуг (ПРП), яка розроблена з використанням аналогії з показником повної енергоємності ПРП [1].

Методика визначення повної енергоємності [1] пройшла апробацію і знайшла визнання як міждержавний стандарт [2]. Показники повної енергоємності та повної вуглецевої повної ПРП відрізняються від показників енергоємності та вуглецевої повної. Останні відображають інтегральну характеристику процесу, його поперечний зріз за певний інтервал часу (найчастіше, за один рік). Повна енергоємність та повна вуглецевої повної ПРП відображають обсяги енерговитрат та викидів парникових газів, які належать до виробництва окремого виду ПРП, незалежно від тривалості циклу його виробництва, експлуатації та утилізації.

Загальний підхід до розрахунків

Повну вуглецевої повної ПРП можна визначити як відношення викидів усіх видів парникових газів прямої дії (у CO₂-еквіваленті) на всіх етапах виробництва ПРП, включно з видобутком, переробкою, транспортуванням, зберіганням, виробництвом і використанням ПРП, а також у ході здійснення заходів щодо захисту навколишнього природного середовища від шкідливого впливу виробництва і використання ПРП до обсягів виробництва ПРП.

У загальному випадку повну вуглецевої повної ПРП необхідно визначити як алгебраїчну суму викидів і поглинання парникових газів, які відбуваються під час виробництва ПРП (Обсяги поглинання парникових газів враховуються з мінусом).

Так само, як повну енергоємність, повну вуглецевої повної ПРП можна представити як таку, що складається з десяти наступних компонентів:

- 1) повної вуглецевої повної енергоресурсів, які витрачаються безпосередньо під час виробництва ПРП;
- 2) повної вуглецевої повної енергоресурсів, які витрачаються для транспортування енергоресурсів, напівфабрикатів, сировини і матеріалів (НСМ), необхідних для виробництва ПРП;
- 3) зниження повної вуглецевої повної за рахунок використання утворених при виробництві ПРП горючих відходів;
- 4) збільшення повної вуглецевої повної, обумовленої імпортом енергоресурсів;
- 5) повної вуглецевої повної НСМ, які використовуються в ході виробництва ПРП;

- 6) зниження повної вуглецевої ємності через використання утворених під час виробництва ПРП негорючих відходів;
- 7) збільшення повної вуглецевої ємності, обумовленої імпортом НСМ;
- 8) повної вуглецевої ємності основних виробничих фондів (ОВФ), амортизованих під час виробництва ПРП;
- 9) повної вуглецевої ємності відтворення робочої сили;
- 10) повної вуглецевої ємності охорони навколишнього природного середовища.

Чотири перші компоненти є складовими повної вуглецевої ємності енергоресурсів, необхідних для виробництва ПРП, а три наступні (з п'ятого по сьомий) – складовими повної вуглецевої ємності НСМ, необхідних для виробництва ПРП.

Розрахункові формули

Для виконання практичних розрахунків значення повної вуглецевої ємності ПРП можна використовувати формули для визначення повної енергоемності [2], модифіковані наступним чином. Повну вуглецевою ємність енергоресурсів, які витрачаються безпосередньо під час виробництва ПРП, c_n в CO_2 -еквіваленті до натуральних одиниць вимірювання кількості ПРП, можна розрахувати за формулою:

$$c_n = \sum_s c_s \left(b_{ns} + \sum_j a'_{nj} b'_{njs} \right), \quad (1)$$

де s – індекс виду енергоресурсів; c_s – повна вуглецевою ємність s -го виду енергоресурсів, $\text{кг CO}_2/\text{МДж}$; b_{ns} – питомі витрати s -го виду енергоресурсів у основному виробництві, $\text{МДж /натуральні одиниці вимірювання кількості ПРП}$; j – індекс виду допоміжного виробництва; a'_{nj} – питомі витрати j -го виду продукції допоміжного виробництва¹, натуральні одиниці вимірювання кількості продукції допоміжного виробництва / натуральні одиниці вимірювання кількості ПРП; b'_{njs} –

¹ До допоміжного виробництва належать технологічні операції і процеси виробництва, необхідні для забезпечення функціонування технологічних процесів основного виробництва – водопостачання, освітлення, вентиляція і опалення, виробництво пари та гарячої води, стисненого повітря і кисню, внутрішньоцеховий і заводський транспорт, ремонтні роботи та очищення відходів виробництва

питомі витрати s -го виду енергоресурсів на виробництво j -го виду допоміжної продукції, МДж / натуральні одиниці вимірювання кількості продукції допоміжного виробництва.

Особливістю запропонованої методики визначення повної вуглецевої емисії ПРП є ітераційний характер розрахунків. На першій ітерації розрахунків як величин повної вуглецевої емисії відповідних компонентів можна використовувати значення питомих викидів парникових газів при виробництві ПРП, розрахованих за відомими методиками Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) [3-5]. Так, наприклад, під час першої ітерації розрахунків повної вуглецевої емисії енергоресурсів, які витрачаються безпосередньо під час виробництва ПРП, величину повної вуглецевої емисії енергоресурсів s -го виду можна розрахувати за формулою:

$$c_{ps}^{(1)} = \sum_g p_g k_{e_{sg}}, \quad (2)$$

де p_g – потенціал глобального потепління g -го виду парникових газів, кг $\text{CO}_2/\text{кг}$ ПГ; $k_{e_{sg}}$ – коефіцієнт викидів g -го виду парникових газів під час спалювання s -го виду енергоресурсів, кг парникових газів / МДж.

Повну вуглецевою емисію енергоресурсів, які витрачаються в ході транспортування енергоресурсів та НСМ, необхідних для виробництва ПРП, c_T можна розрахувати за формулою:

$$c_T = \sum_i \sum_j a_{T_{ij}} c_{T_{ij}}, \quad (3)$$

де i – індекс виду енергоресурсів та НСМ; j – індекс виду транспорту; $a_{T_{ij}}$ – обсяги транспортування i -го виду енергоресурсів та НСМ j -им видом транспорту при виробництві одиниці даного виду ПРП, т-км/МДж або натуральні одиниці вимірювання кількості НСМ; $c_{T_{ij}}$ – повна вуглецевою емисія транспортування i -го виду НСМ j -им видом транспорту, кг $\text{CO}_2/\text{т-км}$.

Зменшення повної вуглецевої емисії ПРП завдяки використанню утворених під час виробництва ПРП горючих відходів c_T можна розрахувати за формулою:

$$c_T = \sum_j a_{Tj} c_{Tj}, \quad (4)$$

де j – індекс виду горючих відходів; a_{Tj} – обсяги горючих відходів, утворених під час виробництва одиниці ПРП, т / натуральні одиниці вимірювання кількості ПРП; c_{Tj} – зменшення повної вуглецевої ємності ПРП через використання горючих відходів, утворених під час виробництва одиниці ПРП, кг CO₂ / натуральні одиниці вимірювання кількості ПРП.

Зменшення повної вуглецевої ємності ПРП за рахунок використання горючих відходів, утворених під час виробництва одиниці ПРП, c_{Tj} можна розрахувати за формулою:

$$c_{Tj} = -a'_{Tj} (d_{Tis} c'_s - c'_{Tj}), \quad (5)$$

де a'_{Tj} – коефіцієнт утворення горючих відходів j -го виду, МДж / натуральні одиниці вимірювання кількості ПРП; d_{Tis} – коефіцієнт заміщення s -го виду енергоресурсів одиницею горючих відходів j -го виду, відносні одиниці; c'_s – повна вуглецевої ємність ПРП s -го виду заміщаються енергоресурсами, включно з енерговитратами на підготовку до використання, кг CO₂/МДж; c'_{Tj} – повна вуглецевої ємність підготовки до використання j -го виду енергоресурсів, кг CO₂/МДж.

Приріст повної вуглецевої ємності, обумовлений імпортом енергоресурсів, $c_{ЕИ}$ можна розрахувати за формулою:

$$c_{ЕИ} = \sum_s b_{ис} [v_{ис} (1 + k_{пс}) e_v - e_s], \quad (6)$$

де $b_{ис}$ – зниження повної вуглецевої ємності власних енергоресурсів s -го виду, обумовлене імпортом даного виду енергоресурсів, МДж / натуральні одиниці вимірювання кількості ПРП; $v_{ис}$ – витрати валюти на імпорт s -го виду енергоресурсів, необхідних для виробництва ПРП, одиниця вимірювання кількості валюти / натуральні одиниці вимірювання кількості ПРП; $k_{пс}$ – коефіцієнт втрат під час транспортування s -го виду енергоресурсів, відносні одиниці; e_v – повна вуглецевої ємність валюти, кг CO₂/одиниця вимірювання кількості валюти.

Зниження повної вуглецевої власних енергоресурсів s -го виду, обумовлене імпортом енергоресурсів, можна розрахувати за формулою:

$$b_{n_s} = k_{n_s} \left(b_{n_s} + \sum_j a'_{nj} b'_{n_{js}} \right), \quad (7)$$

де k_{n_s} – частка імпорту в загальному обсязі споживання s -го виду енергоресурсів, відносні одиниці.

Частку імпорту в загальному обсязі споживання енергоресурсів k_{n_s} можна розрахувати за формулою:

$$k_{n_s} = E_{n_s} / E_{n_s}, \quad (8)$$

де E_{n_s} – обсяг імпорту s -го виду енергоресурсів у країні в розрахунковому році, МДж; E_{n_s} – споживання s -го виду енергоресурсів у країні в розрахунковому році, МДж.

Повну вуглецевоюємність валюти за припущення про те, що всі поставки на експорт ПРП були зроблені в попередньому до розрахункового році, а надходження валюти від експорту ПРП відбуваються в розрахунковий рік c_v , можна розрахувати за формулою:

$$c_v = C_v / V_s, \quad (9)$$

де C_v – повна вуглецевоюємність експортованої ПРП за попередній до розрахункового рік, кг CO₂; V_s – валютні надходження від експорту ПРП в розрахунковому році, одиниця вимірювання кількості валюти.

Повну вуглецевоюємність експортованої ПРП можна розрахувати за формулою:

$$C_v = \sum_j e_j A_j, \quad (10)$$

де j – індекс виду експортованого ПРП; e_j – повна вуглецевоюємність експортованого в попередньому до розрахункового року j -го виду ПРП, кг CO₂/натуральні одиниці вимірювання кількості ПРП; A_j – обсяги експорту j -го виду ПРП за попередній до розрахункового рік, натуральні одиниці вимірювання кількості ПРП.

Повну вуглецевуємність НСМ вітчизняного виробництва, які було використано під час виробництва ПРП, c_m можна розрахувати за формулою:

$$c_m = \sum_j c_j a_{mj}, \quad (11)$$

де c_j – повна вуглецевуємність j -го виду НСМ, кг CO_2 / натуральні одиниці вимірювання кількості НСМ; a_{mj} – витрати j -го виду НСМ на виробництво одиниці ПРП, натуральні одиниці вимірювання кількості НСМ / натуральні одиниці вимірювання кількості ПРП.

Зменшення повної вуглецевуємності ПРП через використання утворених при виробництві ПРП негорючих відходів c_n можна розрахувати за формулою:

$$c_n = \sum_j c_{nj} a_{nj}, \quad (12)$$

де c_{nj} – зниження повної вуглецевуємності ПРП через використання утвореної під час виробництва ПРП одиниці негорючих відходів j -го виду, кг CO_2 / т; a_{nj} – маса негорючих відходів j -го виду, утворених під час виробництва одиниці ПРП, т / натуральні одиниці вимірювання кількості ПРП.

Зменшення повної вуглецевуємності ПРП завдяки використанню утвореної під час виробництва ПРП одиниці негорючих відходів можна розрахувати за формулою:

$$c_{nj} = -a_{nj} \sum_i (d_{nji} c_{nji} - c'_{ni}), \quad (13)$$

де i – індекс виду ПРП, під час виробництва якої використовуються відходи, утворені в ході виробництва даного виду ПРП; j – індекс виду ПРП, під час виробництва яких утворюються відходи; a_{nj} – коефіцієнт утворення негорючих відходів j -го виду, т / одиниці вимірювання кількості ПРП; d_{nji} – коефіцієнт заміщення j -го виду НСМ, утвореними під час виробництва i -го виду ПРП негорючими відходами, т/т; c_{nji} – повна вуглецевуємність j -го виду заміщених НСМ при виробництві i -го виду ПРП відходами, утвореними в ході виробництва даного виду ПРП,

кг CO₂ / т; c'_{H_i} – повна вуглецевоємність підготовки j -го виду відходів, до використання під час виробництва i -го виду ПРП, кг CO₂ / т.

Повну вуглецевоємність імпортованих НСМ, необхідних для виробництва одиниці ПРП, c_{mi} можна розрахувати за формулою:

$$c_{mi} = c_v \sum_j V_{mi_j}, \quad (14)$$

де j – індекс імпортованого виду НСМ; V_{mi_j} – витрати валюти на імпорт j -го виду НСМ, одиниці вимірювання кількості валюти.

Повну вуглецевоємність ОВФ, амортизованих під час виробництва ПРП, c_ϕ можна розрахувати за формулою:

$$c_\phi = \sum_j c_{\phi_j} a_{\phi_j}, \quad (15)$$

де j – індекс виду ОВФ; c_{ϕ_j} – повна вуглецевоємність j -го виду ОВФ, кг CO₂ / одиниці вимірювання кількості ОВФ; a_{ϕ_j} – обсяги j -го виду ОВФ, амортизованих при виробництві ПРП, одиниці вимірювання кількості ОВФ / одиниці вимірювання кількості ПРП.

Обсяги амортизації ОВФ можна розрахувати за формулою:

$$a_{\phi_j} = \frac{k_{\phi_j} d_{\phi_j} A_{\phi_j}}{P_{\phi_j}}, \quad (16)$$

де k_{ϕ_j} – коефіцієнт застосування j -го виду ОВФ для виробництва ПРП, відносні одиниці; d_{ϕ_j} – коефіцієнт амортизації j -го виду ОВФ для виробництва ПРП, відносні одиниці; A_{ϕ_j} – обсяги j -го виду ОВФ, які використовуються при виробництві ПРП, одиниці вимірювання кількості ОВФ; P_{ϕ_j} – річна продуктивність j -го виду ОВФ під час виробництва ПРП, одиниці вимірювання кількості ПРП.

Повну вуглецевоємність відтворення робочої сили c_p можна розрахувати за формулою:

$$c_p = c_3 a_3, \quad (17)$$

де c_3 – повна вуглецевоємність трудовитрат, кг CO₂/люд.-год; a_3 – питомі трудовитрати на виробництво ПРП з урахуванням оплати праці в галузі, люд.-год / одиниці вимірювання кількості ПРП.

Питомі трудовитрати з врахуванням оплати праці в галузі можна розрахувати за формулою:

$$a_3 = a_p v_3 / V_3, \quad (18)$$

де a_p – питомі трудовитрати на виробництво ПРП, люд.-год. / одиниці вимірювання кількості ПРП; v_3 і V_3 – середня оплата праці, відповідно, в країні і в галузі, в якій виробляється ПРП, грошові одиниці / люд.-год.

Повну вуглецевоємність трудовитрат можна розрахувати за формулою:

$$c_3 = \frac{C_{pc}}{k_n A_{pc}}, \quad (19)$$

де C_{pc} – загальна вуглецевоємність відтворення робочої сили в розрахунковому році, кг CO₂; k_n – коефіцієнт, який враховує накопичення грошових доходів населення, відносні одиниці; A_{pc} – загальні трудовитрати (фонд робочого часу) в країні в розрахунковому році, люд.-год.

Коефіцієнт накопичення грошових доходів населення можна розрахувати за формулою:

$$k_n = 1 - \frac{V_d}{V_T}, \quad (20)$$

де V_T – грошові доходи населення в розрахунковому році, грошові одиниці; V_d – приріст депозитів населення в банках у розрахунковому році, грошові одиниці.

Загальну вуглецевоємність відтворення робочої сили можна розрахувати за формулою:

$$C_{pc} = k_p (C_B - C_\Phi + C_e - C_1), \quad (21)$$

де k_p – коефіцієнт, що враховує частку вуглецевоємності, яка належить до відтворення робочої сили, в загальній вуглецевоємності, відносні одиниці; C_B – вуглецевий еквівалент усіх викидів парникових газів в країні, кг CO₂; C_Φ – приріст повної вуглецевоємності ОВФ в країні, кг CO₂; C_e – вуглецевий еквівалент усіх експортованих ПРП з країни, кг CO₂; C_1 – вуглецевий еквівалент всіх імпортованих ПРП в країну, кг CO₂.

Приріст повної вуглецевої емності ОВФ можна розрахувати за формулою:

$$C_{\phi} = \sum_j (c'_{\phi_j} A'_{\phi_j} - d_{\phi_j} c_{\phi_j} A_{\phi_j}), \quad (22)$$

де j – індекс виду ОВФ; A_{ϕ_j} і A'_{ϕ_j} – обсяги j -го виду ОВФ відповідно, що знаходяться в експлуатації, і виведених з експлуатації в країні в розрахунковому році, грошові одиниці; c_{ϕ_j} і c'_{ϕ_j} – повна вуглецевої емність j -го виду ОВФ, відповідно, що знаходяться в експлуатації, і введених в експлуатацію в країні в розрахунковому році, кг CO_2 /грошові одиниці.

Коефіцієнт, що враховує частку вуглецевої емності щодо відтворення робочої сили, можна розрахувати за формулою:

$$k_p = \frac{d_p k_n (1 - k_b)}{[1 + d_p k_n (1 + k_b) - k_n]}, \quad (23)$$

де d_p – коефіцієнт приросту вуглецевого еквіваленту сукупного суспільного продукту (ССП), відносні одиниці; k_n – частка ССП, яка використовується для споживання, відносні одиниці; k_b – частка ССП, яка використовується для розширеного відтворення, відносні одиниці.

Частку ССП, яка використовується для споживання, можна розрахувати за формулою:

$$k_n = \frac{V_n}{V}, \quad (24)$$

де V_n – величина ССП, яка використовується для споживання, грошові одиниці; V – загальна величина ССП, грошові одиниці.

Частку ССП, яка використовується для розширеного відтворення, можна розрахувати за формулою:

$$k_b = \frac{V_b}{V}, \quad (25)$$

де V_b – величина ССП, яка використовується для розширеного відтворення, грошові одиниці.

Коефіцієнт приросту вуглецевого еквіваленту ССП можна розрахувати за формулою:

$$d_p = \frac{C_{\text{ССП}}}{C'_{\text{ССП}}}, \quad (26)$$

де $C_{\text{ССП}}$ і $C'_{\text{ССП}}$ – вуглецевий еквівалент ССП, відповідно, в розрахунковому і попередньому до розрахункового роках, кг CO_2 .

Повну вуглецевоюємність охорони навколишнього природного середовища (у т.ч. й в ході утилізації виробленої продукції в кінці циклу її використання) можна розрахувати за формулою:

$$c_{\text{в}} = \sum_j c_{\text{в}j} a_{\text{в}j}, \quad (27)$$

де j – індекс виду незворотних відходів виробництва; $c_{\text{в}j}$ – повна вуглецевоюємність усунення наслідків негативного впливу на навколишнє природне середовище тонни незворотних відходів виробництва j -го виду, кг CO_2 / т; $a_{\text{в}j}$ – коефіцієнт утворення незворотних відходів виробництва j -го виду під час виробництва ПРП, т / одиниці вимірювання кількості ПРП.

Висновки

Запропонована методика визначення кількісної оцінки повної вуглецевоюємності ПРП може знайти застосування під час визначення ефективності діяльності щодо скорочення викидів парникових газів (наприклад, ефективності заміни природного газу вугіллям), у ході порівняння альтернативних способів виробництва одного і того ж виду продукції, інвентаризації викидів парникових газів і побудові вуглецевого балансу країни, підприємства або виду діяльності, формування екологічної суспільної свідомості, а також під час вирішення інших завдань економічного розвитку.

* *

1. *Панченко Г.Г.* Енергоекономічний аналіз виробництва продукції, робіт і послуг. – НАНУ, Інститут проблем енергозбереження. Препринт 94-3. – К. – 1994 р. – 29 с.
2. *Тонкаль В.Ю., Гнідой М.В., Панченко Г.Г., Стоянова І.І., Соколовська І.С.* Методика визначення повної енергоемності продукції, робіт і послуг. – Міждержавний стандарт, ГОСТ 30583-98 (Дата введення 01.01.1999 р.).
3. Пересмотренные Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов, МГЭТК, 1996 г.: Рабочая книга.
4. Руководящие указания МГЭИК по эффективной практике и учет факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов, 2000 г.

5. МГЭИК 2006. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г.

Фонд цільових екологічних (зелених) інвестицій, Київ

Г.Г.Панченко

Методика определения полной углеродоемкости продукции, работ и услуг

Предложена методика определения полной углеродоемкости продукции, работ и услуг, которая может найти применение при определении эффективности деятельности по сокращению выбросов парниковых газов, сравнении альтернативных способов производства одного и того же вида продукции, разработке углеродного баланса страны, предприятия или вида деятельности, а также при решении других задач экономического развития.

Ключевые слова: *изменение климата, парниковые газы, полная углеродоемкость, продукция, работа, услуги.*

G.G.Panchenko

The Methodology of Determining the Full Carbon Intensity of Goods, Work, and Services

The offered methodology estimates the total carbon intensity of products and services. It can be used to evaluate the effectiveness of efforts applied to reduce greenhouse gas emissions, compare alternative methods of production of the same type of product, develop the carbon balance of a country, enterprise or activity, and to solve other economic development issues.

Keywords: *climate change, greenhouse gas, the full carbon intensity, goods, work, services.*