

УДК 621.181.7

**Д.В. СТЕПАНОВ**, канд. техн. наук (Вінницький національний технічний університет), **Ю.В. КУРІС** (Запорізька державна інженерна академія), **Р.Г. ХЕЙФЕЦ**, д-р техн. наук (ВАТ «Трубосталь», м. Дніпропетровськ), **С.Й. ТКАЧЕНКО**, д-р техн. наук (Вінницький національний технічний університет)

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ПРИ ОТРИМАННІ ТА ВИКОРИСТАННІ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПАЛИВА

Проаналізовано динаміку питомих втрат, загальне споживання енергоресурсів, структуру споживання котельно-пічного палива за видами та економію паливно-енергетичних ресурсів в окремих виробництвах чорної металургії за 1995-2003 рр.

Однією з основних цілей використання біопалива є зниження емісії парникових газів при заміні первинних енергоресурсів. Це припускає визначення емісії до і після використання біопалива (біогазу, отриманого під час анаеробного бродіння). В основу визначення величини емісії покладено системний підхід, коли розрахунок здійснюється з урахуванням викидів, отриманих при видобутку палива, витрат палива на виготовлення устаткування тощо. При цьому розглядається життєвий цикл експлуатації устаткування та капітальних споруджень [1, 2].

Як правило, зазначені методики дозволяють визначити емісію в прив'язці до конкретних технологій і устаткування, видів палива. В результаті визначаються:

– абсолютне значення викидів за розглянутий проміжок часу  $E_{CO_2}$  [гСО<sub>2</sub>-екв/година];

– показник емісії (наведена емісія), віднесена до одиниці вихідного палива –  $e_{CO_2}$  [гСО<sub>2</sub>-екв/Дж] або  $e_{CO_2}$  [гСО<sub>2</sub>-екв/м<sup>3</sup>];

– питома емісія  $E_y$  віднесена до одиниці корисної енергії (гСО<sub>2</sub>-екв/кВтч, гСО<sub>2</sub>-екв/Гкал).

Ці показники дозволяють оцінити зниження викидів при виробництві того самого виду енергоносіїв. Однак порівняння зазначених показників при виробництві різних видів енергії стає необ'єктивним. До того ж отримані показники не є прямими характеристиками, а носять непрямий характер. Таким чином, прийняті показники зниження емісії не дозволяють об'єктивно порівняти різні технології та устаткування, ефективність використання різних видів біопалива і оцінити вплив їхньої якості на кінцевий результат, а також повністю врахувати вплив виду та якості замінного палива.

Водночас кількість енергетичної біомаси обмежена для України і, за оцінками [3], становить 9,07 млн т у.п. на рік, що не перевищує 4,6% споживання первинних енергоносіїв у країні. При цьому зазначений потенціал повинен бути використаний з максимальною ефективністю.

У зв'язку з цим розробка показників і методики визначення ефективності екологічного використання біопалива є актуальними завданнями.

### Методика розрахунку показників емісії для процесу отримання біогазу за допомогою анаеробного бродіння біомаси

Показник емісії парникових газів при анаеробній переробці біомаси пов'язаний з викидами при спалюванні натурального палива на етапі збору, переробки, а також із процесами бродіння біомаси. З огляду на те, що біомаса, придатна для анаеробного бродіння, в Україні переважно відноситься до відходів виробництва, викиди парникових газів, пов'язані із заготівлею та збором біомаси, не враховувалися, оскільки витрати енергії повністю ставилися до виробництва основної продукції. В цьому випадку показник емісії для біогазу  $e_{CO_2}^{BG}$  складається із двох складових:

$$e_{CO_2}^{BG} = e_{BPOЖ}^{BM} + e_{ПЕР}^{BM}, \quad (1)$$

де  $e_{BPOЖ}^{BM}$  – показник емісії парникових газів, пов'язаний із процесом шумування (вивантаження і завантаження біомаси, а також витратами на перемішування), гСО<sub>2</sub>-екв./ (кг у.п. біомаси);  $e_{ПЕР}^{BM}$  – показник емісії парникових газів, пов'язаний з процесом переробки і підготовки біомаси, гСО<sub>2</sub>-екв./ (кг у.п. біомаси).

Процеси отримання біопалива за допомогою анаеробного бродіння містять витрати на електроенергію для вивантаження, завантаження і перемішування біомаси, а також на теплоту для підготовки субстрату і термостабілізації реакторів. Витрати електричної енергії на дані види процесів зведено в таблицю 1 (див. стор. 70) [4].

Відповідно, показник емісії парникових газів, пов'язаний з переробкою біомаси й анаеробним бродінням біомаси  $e_{ПЕР}^{BM}$ ,  $e_{BPOЖ}^{BM}$ , визначався відповідно до залежності:

$$e_{BPOЖ}^{BM} = b_{ЭЭ}^{BPOЖ} E_{ЭЭ}; e_{ПЕР}^{BM} = b_{ЭЭ}^{ПЕР} E_{ЭЭ}, \quad (2)$$

де  $E_{\text{ЭЭ}}$  – питома емісія парникових газів при триманній електричній енергії, кгСО<sub>2</sub>-екв/кВт ч,  $b_{\text{ЭЭ}}^{\text{БРОЖ}}$ ,  $b_{\text{ЭЭ}}^{\text{ПЕР}}$  – питомі витрати палива на бродіння та переробку біомаси, кВт ч/кг у.п., Гкал/кг у.п.

**Таблиця 1.** Питомі витрати електроенергії при анаеробному бродінні біомаси

Тип використовуваного устаткування	Насоси для вивантаження і завантаження	Мішалки в реакторі	Інше технологічне устаткування
Витрати електроенергії (для датського реактора обсягом 800 м <sup>3</sup> біомаси) $b_{\text{ЭЭ}}^{\text{БМ}}$ , кВт/т	5...12	5...7	3...5
Витрати електроенергії (для малої фермерської установки 130-150 м <sup>3</sup> біомаси) $b_{\text{ЭЭ}}^{\text{БМ}}$ , кВт/т	2...4	1...3	0,5...2

Наведена вище методика дозволяє оцінити показники емісії парникових газів для різних видів викопного палива і різних варіантів технологій та устаткування одержання біопалива.

**Методика розрахунку показників емісії для процесу спалювання біопалива**

Розроблені методики являють собою комп'ютерні програми з відповідними базами даних. Однієї з особливостей використання цих програм, на наш погляд, є те, що з одного боку вони дозволяють зробити конкретний розрахунок з максимальною деталізацією та оцінити "інтегральний" результат. Водночас аналіз взаємовпливу різних факторів залишається схованим, що часто може призводити до помилкових висновків. Особливо це є характерним для узагальнюючого (стратегічного) аналізу. Тому розрахункові дослідження повинні доповнюватися аналітичними дослідженнями, які дозволяють виявити основні взаємозв'язки між параметрами. Саме такий підхід використаний нами при розробці показника питомого зниження викидів парникових газів при заміні натурального палива біопаливом –  $\epsilon_{\text{CO}_2}$  [5]

$$\epsilon_{\text{CO}_2} = \frac{E_{\text{CO}_2}^{\text{ИСК}} - E_{\text{CO}_2}^{\text{БГ}}}{V_{\text{БГ}} \cdot Q_{\text{Н,БГ}}^{\text{P}}}, \quad (3)$$

де  $E_{\text{CO}_2}^{\text{ИСК}}$ ,  $E_{\text{CO}_2}^{\text{БГ}}$  – абсолютна величина викидів парникових газів при роботі на натуральному паливі та біопаливі відповідно, кг ІЗ 2-екв/год;  $V_{\text{БГ}}$  – витрата біогазу, м<sup>3</sup>/год;  $Q_{\text{Н,БГ}}^{\text{P}}$  – теплота згорання біогазу, Дж/м<sup>3</sup>.

Визначення величини емісії парникових газів засновано на використанні показника емісії  $\epsilon_{\text{CO}_2}$  [кг ІЗ2 экв/кг]. Тоді абсолютна величина емісії може бути розрахована відповідно до залежності

$$E_{\text{CO}_2} = B \cdot \epsilon_{\text{CO}_2}, \quad (4)$$

де  $B$  – витрата палива, м<sup>3</sup>/година.

Своєї черги, витрата палива визначається продуктивністю енергетичного агрегата та його ККД –  $\eta_{\Sigma}$

$$B = \frac{Q_{\text{ПОЛ}}}{Q_{\text{H}}^{\text{P}} \eta_{\Sigma}}, \quad (5)$$

де  $Q_{\text{ПОЛ}}$  – корисна (відпущена на сторону) енергія, Дж.

Припускаючи, що виробіток корисної енергії  $Q_{\text{ПОЛ}}$  є однаковим до і після заміни викопного палива, та з урахуванням виражень (4) і (5) залежність для визначення питомого зниження викидів парникових газів –  $\epsilon_{\text{CO}_2}$  (2) перетвориться на вираження, що не містить корисної енергії:

$$\epsilon_{\text{CO}_2} = e_{\text{CO}_2}^{\text{ИСК}} \frac{\eta_{\Sigma}^{\text{БГ}}}{\eta_{\Sigma}^{\text{ИСК}}} - e_{\text{CO}_2}^{\text{БГ}} \quad (6)$$

де  $e_{\text{CO}_2}^{\text{ИСК}} = \frac{\epsilon_{\text{CO}_2}^{\text{ИСК}}}{Q_{\text{H,ИСК}}^{\text{P}}}$ ;  $e_{\text{CO}_2}^{\text{БГ}} = \frac{\epsilon_{\text{CO}_2}^{\text{БГ}}}{Q_{\text{H,БГ}}^{\text{P}}}$ .

Таким чином, основними параметрами, що впливають на ефективність використання біомаси для зниження емісії парникових газів при заміні викопного палива, є:

– показники емісії парникових газів віднесені до одиниці теплоти згорання палива  $e_{\text{CO}_2}^{\text{ИСК}}$ ,  $e_{\text{CO}_2}^{\text{БГ}}$  аналогічно [1, 2];

– відношення коефіцієнтів корисної дії енергетичних агрегатів до і після заміни викопного палива, при цьому є через ККД бруто – сумарний ККД враховуючої енерговитрати на власні потреби й втрати (в тому числі на попередню підготовку біогазу).

В разі спільного спалювання біогазу та натурального палива, при його частковій заміні залежність для обчислення  $\epsilon_{\text{CO}_2}$  матиме такий вигляд:

$$\epsilon_{\text{CO}_2} = \left( e_{\text{CO}_2}^{\text{ИСК}} \frac{\eta_{\Sigma}^{\text{СМ}}}{\eta_{\Sigma}^{\text{ИСК}}} - e_{\text{CO}_2}^{\text{СМ}} \right) \cdot \frac{1}{(1-a)}, \quad (7)$$

$$e_{\text{CO}_2}^{\text{СМ}} = \frac{\epsilon_{\text{CO}_2}^{\text{СМ}}}{Q_{\text{H,СМ}}^{\text{P}}} = \frac{\epsilon_{\text{CO}_2}^{\text{ИСК}} \cdot a + \epsilon_{\text{CO}_2}^{\text{БГ}} (1-a)}{Q_{\text{H,ИСК}}^{\text{P}} \cdot a + Q_{\text{H,БГ}}^{\text{P}} (1-a)}, \quad (8)$$

де  $a$  – масова частка натурального палива в суміші;  $a'$  – енергетична частка натурального палива в суміші, що дорівнює:

$$a' = \frac{Q_{H, ИСК}^P}{Q_{H, CM}^P}. \quad (9)$$

Як відомо, величина ККД визначається технічним рівнем використовуваного устаткування та технології перетворення енергії, як при спалюванні натурального палива, так і біомаси. Крім того величина ККД пов'язана і з ефективністю використання устаткування в часі, що є особливо важливим для випадку спільного виробітку теплової та електричної енергії.

Особливе місце посідає випадок часткового використання енергетичного потенціалу біомаси, наприклад при використанні технології піролізу. В цьому випадку, коксовий залишок може бути використаний як паливо або як вуглецевий матеріал для технологічних потреб (одержання активованого вугілля тощо). Відповідно, у (6) ККД енергетичного агрегату при роботі на біомасі повинен враховувати втрати теплової енергії при піролізі, а розрахунок показника емісії вироблятися стосовно до спалювання летучих продуктів піролізі.

Системний підхід до визначення величини показника емісії, аналогічно [1, 2], передбачає підсумовування викидів парникових газів всім технологічним ланцюжком використання палива, починаючи з видобутку і закінчуючи його спа-

люванням. Таким чином, структура показника емісії для будь-якого виду палива складається з чотирьох основних складових: емісії при видобутку палива –  $e_{CO_2}^{доб}$ , його транспортування –  $e_{CO_2}^{тр}$ , переробки –  $e_{CO_2}^{пер}$ , спалювання палива –  $e_{CO_2}^{сж}$ . Тоді загальний вид залежності для розрахунку показника емісії можна представити як суму

$$e_{CO_2} = e_{CO_2}^{доб} + e_{CO_2}^{тр} + e_{CO_2}^{пер} + e_{CO_2}^{сж}. \quad (10)$$

Таким чином, величина показника емісії залежить від національних особливостей енергетичного комплексу кожної держави (наявність власних паливних ресурсів, структура й особливості енергетичної й добувної галузей промисловості, територіальне розташування тощо).

### Висновки

Представлена розробка методики дозволяє здійснити аналіз екологічної ефективності енергетичного використання біомаси на основі показника питомого зниження викидів парникових газів. Цей показник дозволяє об'єктивно порівнювати існуючі та пропоновані технології й устаткування при використанні біоенергетичного палива, при цьому повністю враховується комплексний вплив виду та якості замінного палива на емісію й ККД теплових агрегатів.

Запропонована методика дозволяє системно порівнювати екологічні показники використання різних палив на всіх етапах від його видобутку до безпосередньо спалювання.

1. К.Л. Єфімов, О.В. Кащенко, Т.А. Косарикова. Заходи щодо скорочення викидів парникових газів: досвід, можливості та проблеми на регіональному рівні / Нижегородське агентство розвитку навколишнього середовища // <http://www.koi.ic.sci-ntov.ru/nice/Jornal/efim.html>.

2. Запатріна І.В. Перспективи розвитку в Україні поновлюваних джерел енергії // Теорія й практика керування. 2004. – №11.

3. Бізнес Сьогодні: "Зелений" тариф може стати зеленим світлом для альтернативної енергетики в Україні // <http://www.oeko.de/service/em>

4. Технічна документація промислово-тваринницького комплексу комбінату "Запоріжсталь".

5. Усенко А.Ю. Удосконалення процесу окисного піролізу біомаси з метою зниження емісії парникових газів. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, НМетАУ, Дніпропетровськ, 2006.