

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**Геннадій Голуб**

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри тракторів, автомобілів і біоенергоресурсів,
Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15,
Київ, Україна, 03041, gagolub@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2388-0405

Олег Кепко

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри прикладної інженерії та охорони праці,
Уманський національний університет садівництва, вул. Інститутська, 1, Умань, Черкаська область,
Україна, 20301, kepko@meta.ua
ORCID: 0000-0003-1443-307X

Оксана Яременко

провідний інженер,
Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України, вул. Гната Хоткевича, 20-а,
Київ, Україна, 02094, oksanalutak@ukr.net
ORCID: 0000-0001-5440-4682

Олег Марус

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри тракторів, автомобілів і біоенергоресурсів,
Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15,
Київ, Україна, 03041, marus_o@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1521-2885

Валентина Кепко

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри підприємництва, торгівлі та біржової діяльності,
Білоцерківський національний аграрний університет, пл. Соборна, 8/1, Біла Церква,
Київська область, Україна, 09117, valya.kepko@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6432-7211

Оцінка ефективності виробництва біогазу й електроенергії на його основі в аграрному виробництві неможлива без оцінки економічної ефективності відпрацьованої біомаси як органічних добрив. В Україні, де чорноземні ґрунти є основою виробництва аграрної продукції, питання відновлення їх родючості є актуальною проблемою. Гній сільськогосподарських тварин у поєднанні з підстилкою із соломи є одним із кращих видів органічних добрив. У зв'язку із цим ефективність використання гною для виробництва біометану повинна включати також ефективність його використання як органічних добрив. У статті пропонується методика оцінки економічної ефективності виробництва біометану й електроенергії на його основі за умови, що витрати на виробництво біометану в сільськогосподарських підприємствах включають виробничі витрати на одержання біометану за вирахуванням перевищення вартості органічних добрив над вартістю гною з врахуванням вартості органічних добрив після збродження в біогазовому реакторі. Методика базується на врахуванні таких показників, як потреба в біомасі для отримання 1 м³ біометану та потреба в біомасі для отримання 1 кВт·год електроенергії за час збродження. Ці величини відповідно складають 93,3 кг/м³ і 23,9 кг/кВт·год. Встановлено значення собівартості виробництва біометану й електроенергії на основі біометану залежно від різниці цін біомаси рідкого гною до збродження в біогазовому реакторі й органічних добрив після збродження. З урахуванням поточних цін в Україні встановлені умови забезпечення нульової собівартості виробництва біометану за умови забезпечення нульової собівартості виробництва електроенергії на основі біометану за різниці цін біомаси рідкого гною до збродження в біогазовому реакторі й органічних добрив після збродження. Запропонована методика може бути корисна для економічної ефективності заходів з утилізації гною у біогазових реакторах.

Ключові слова: біогаз, біометан, газовидобуток, економічна ефективність.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Виробництво біометану є одним із альтернативних видів отримання енергії в аграрному виробництві та в галузі переробки продукції. Як сировину для отримання біометану з різним ступенем ефективності використовують різну органічну сировину. Це, наприклад, стебла злакових і бобових культур, відходи спиртового, винного виробництва [1; 2] та переробки олійних культур [3] тощо. Використання біометану для отримання електроенергії дає змогу покращити екологічну ситуацію та зменшити залежність від зовнішніх поставок енергоносіїв [4].

Прийнято вважати, що кращою сировиною для отримання біогазу є гній тварин, але гній також і є одним із кращих органічних добрив. Тому важливою задачею є економічно обґрунтувати вибір гною як сировини для отримання біогазу або як органічних добрив. У роботі [5] приведені дослідження з прогнозування виробництва біогазу з гною різних тварин із врахуванням фактора доступності, який, зокрема враховує і використання гною як органічного добрива, але методика визначення цього фактора не розкрита.

Для визначення економічної ефективності виробництва біогазу і біодобрив класичними вважаються два підходи. За першим – враховувалося нормативне значення норми прибутку у відсотках, що має забезпечити отримання доходу, достатнього для розширеного відтворення капіталу, за другим – вартість біогазу за ринковою ціною природного газу, а ціна твердих і рідких біодобрив за формулою: нормативна собівартість + 50% [5–8]. Також оцінка економічної ефективності виробництва біометану й електроенергії на його основі в аграрних підприємствах традиційно охоплює виробничі витрати на одержання біометану та капітальні витрати на будівництво установок.

Завданням дослідження було запропонувати методику визначення економічної ефективності використання гною на основі порівняльної оцінки економічної ефективності виробництва біометану й електроенергії на його основі за умови, що витрати на виробництво біометану в аграрних підприємствах включають виробничі витрати на одержання біометану за вирахуванням перевищення вартості органічних добрив над вартістю гною з врахуванням вартості органічних добрив після зброджування в біогазовому реакторі.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Загальновідомо, що витрати на виробництво біометану в аграрних підприємствах включають

виробничі витрати на одержання біометану за вирахуванням перевищення вартості органічних добрив над вартістю гною:

$$B_{BM} = V_{BM}C_{BM} = m_{LM}C_{LM} - m_{OF}C_{OF} + E_{P_{BM}}, \quad (1)$$

звідки виробнича собівартість виробництва біометану, з урахуванням того, що $m_{LM} \approx m_{OF} = m_{PB}$, становить:

$$C_{BM} = \frac{m_{PB}}{V_{BM}}(C_{LM} - C_{OF}) + E_{BM} = \frac{V_{PB}\rho_{PB}}{V_{BM}}(C_{LM} - C_{OF}) + E_{BM} = 365 \frac{V_{PB}\rho_{PB}}{V_{BM}\tau_{FT}}(C_{LM} - C_{OF}) + E_{BM} = \frac{\rho_{PB}}{k_{BM}\tau_{FT}}(C_{LM} - C_{OF}) + E_{BM}, \quad (2)$$

а перевищення ціни органічних добрив над ціною гною для забезпечення нульової собівартості біометану становитиме:

$$C_{OF} - C_{LM} = \frac{E_{BM}k_{BM}\tau_{FT}}{\rho_{PB}}, \quad (3)$$

або з урахуванням амортизаційних витрат:

$$C_{OF} - C_{LM} = \frac{(E_{BM} + A_{BM})k_{BM}\tau_{BM}}{\rho_{PB}}, \quad (4)$$

де B_{BM} – витрати на виробництво біометану, грн; V_{BM} – об'єм одержаного біометану, m^3 ; C_{BM} – виробнича собівартість біометану, грн/ m^3 ; m_{LM} – маса рідкого гною, що надходить на зброджування, т; m_{OF} – маса органічних добрив, отриманих після зброджування, т; m_{PB} – маса переробленої в біогазовому реакторі біомаси, т; C_{LM} – ціна рідкого гною, грн/т; C_{OF} – ціна органічних добрив, грн/т; $E_{P_{BM}}$ – виробничі витрати на виробництво біометану без урахування вартості рідкого гною та органічних добрив, грн; E_{BM} – питомі виробничі витрати на виробництво біометану, грн/ m^3 ; V_{PB} – об'єм переробленої в біогазовому реакторі біомаси, m^3 ; ρ_{PB} – густина переробленої в біогазовому реакторі біомаси, т/ m^3 ; V_P – об'єм біомаси в біогазовому реакторі, m^3 ; τ_{FT} – час утримання біомаси в реакторі під час зброджування, дів; k_{BM} – вихід біометану за добу з розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора, m^3/m^3 добу; A_{BM} – амортизаційні витрати на виробництво біометану, грн/ m^3 .

Подальша деталізація виразу (2) шляхом розкриття структури питомих виробничих витрат на виробництво біометану дає змогу записати:

$$C_{BM} = \frac{\rho_{PB}}{k_{BM}\tau_{FT}}(C_{LM} - C_{OF}) + (1 + k_{TE} + k_{GEE})(M_{AR_{BM}} + E_{L_{BM}} + S_{BM}), \quad (5)$$

де k_{TE} – коефіцієнт, що враховує загальновиробничі витрати, відносних од.; k_{GEE} – коефіцієнт, що враховує загальногосподарські витрати, відн. од.; $M_{AR_{BM}}$ – відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки з виробництва біометану, грн/ m^3 ; $E_{L_{BM}}$ – вартість витраченої елек-

тричної енергії при виробництві біометану, грн/м³; SBM – фонд заробітної плати з нарахуваннями при виробництві біометану, грн/м³.

Витрати на виробництво електроенергії на основі біометану включають виробничі витрати на одержання біометану й електроенергії за вирахуванням перевищення вартості органічних добрив над вартістю гною:

$$B_{EL} = W_{EL}C_{EL} = m_{LM}C_{LM} - m_{OF}C_{OF} + E_{PEL}, \quad (6)$$

звідки виробнича собівартість виробництва електроенергії на основі біометану, з урахуванням того, що $m_{LM} \approx m_{OF} = m_{PB}$, становить:

$$C_{EL} = \frac{m_{PB}}{W_{EL}}(C_{LM} - C_{OF}) + E_{EL} = \frac{V_{PB}\rho_{PB}}{W_{EL}}(C_{LM} - C_{OF}) + E_{EL} = 365 \frac{V_{PB}\rho_{PB}}{W_{EL}\tau_{FT}}(C_{LM} - C_{OF}) + E_{EL}, \quad (7)$$

а врахувавши, що

$$W_{EL} = \frac{V_{BM}q_{BM}\eta_G}{3,6}, \quad (8)$$

отримаємо:

$$C_{EL} = 365 \frac{3,6 V_{PB}\rho_{PB}}{V_{BM}q_{BM}\eta_G\tau_{FT}}(C_{LM} - C_{OF}) + E_{EL} = \frac{3,6\rho_{PB}}{k_{BM}q_{BM}\eta_G\tau_{FT}}(C_{LM} - C_{OF}) + E_{EL}, \quad (9)$$

а перевищення ціни органічних добрив над ціною гною для забезпечення нульової собівартості електроенергії на основі біометану становитиме:

$$C_{OF} - C_{LM} = \frac{E_{EL}k_{BM}q_{BM}\eta_G\tau_{FT}}{3,6\rho_{PB}}, \quad (10)$$

або з урахуванням амортизаційних витрат:

$$C_{OF} - C_{LM} = \frac{(E_{EL} + A_{EL})k_{BM}q_{BM}\eta_G\tau_{FT}}{3,6\rho_{PB}}, \quad (11)$$

де B_{EL} – витрати на виробництво електроенергії на основі біометану, грн; W_{EL} – кількість виробленої електроенергії, кВт·год; C_{EL} – виробнича собівартість електроенергії, грн/кВт·год; E_{PEL} – виробничі витрати на виробництво електроенергії на основі біометану без урахування вартості рідкого гною та органічних добрив, грн; E_{EL} – питомі виробничі витрати на виробництво електроенергії на основі біометану, грн/кВт·год; q_{BM} – теплотворна здатність біометану, МДж/м³; η_G – коефіцієнт корисної дії дизель-генератора при отриманні електроенергії, відн. од.; 3,6 – коефіцієнт перерахунку, МДж/кВт·год; A_{EL} – амортизаційні витрати на виробництво електроенергії на основі біометану, грн/кВт·год

Подальша деталізація виразу (9) шляхом розкриття структури питомих виробничих витрат на виробництво електроенергії на основі біометану дає змогу записати:

$$C_{EL} = \frac{3,6\rho_{PB}}{k_{BM}q_{BM}\eta_G\tau_{FT}}(C_{LM} - C_{OF}) + (1 + k_{TE} + k_{GEE})(M_{AREL} + E_{EL} + S_{EL}), \quad (12)$$

де M_{AREL} – відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки з виробни-

цтвом електроенергії, грн/кВт·год; E_{LEL} – вартість витраченої електричної енергії при виробництві електроенергії на основі біометану, грн/кВт·год; S_{EL} – фонд заробітної плати з нарахуваннями при виробництві електроенергії на основі біометану, грн/кВт·год.

Значення коефіцієнтів, що обумовлюють ефективність виробництва біометану й електроенергії на його основі, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1
Значення коефіцієнтів для розрахунку собівартості виробництва біометану й електроенергії на його основі

Показник	Позначення	Значення
Потреба в біомасі для отримання 1 м ³ біометану за час зброджування	$\frac{\rho_{PB}}{k_{BM}\tau_{FT}}$	0,0933 т/м ³ або 93,3 кг/м ³
Потреба в біомасі для отримання 1 кВт·год електроенергії за час зброджування	$\frac{3,6\rho_{PB}}{k_{BM}q_{BM}\eta_G\tau_{FT}}$	0,0239 т/кВт·год або 23,9 кг/кВт·год
Коефіцієнт, що враховує загальновиробничі та загальногосподарські витрати, відн. од.	b	1,15

Приклад 1. Визначити собівартість виробництва біометану при анаеробному зброджуванні гноївки скотарських і свинарських ферм.

Вихідні дані для розрахунку економічних показників виробництва біометану, кількості біомаси, потрібної для отримання 1 м³ біометану за весь час зброджування та вихідні дані для розрахунку собівартості виробництва біометану наведені в таблиці 2, а результати розрахунків у таблиці 3.

Питомі виробничі витрати на виробництво біометану становлять:

$$E_{BM} = (1 + k_{TE} + k_{GEE})(MAR_{BM} + EL_{BM} + S_{BM}) = (1 + 0,05 + 0,1)(4,02 + 1,2 + 0,88) = 7,02 \text{ грн/м}^3.$$

Вихід біометану із 1 м³ біомаси за весь час зброджування:

$$V_{BM} = k_{BM}\tau_{FT} = 0,75 \cdot 15 = 11,25 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Кількість біомаси, потрібної для отримання 1 м³ біометану за увесь час зброджування:

$$m_{BM} = \frac{\rho_{PB}}{V_{BM}} = \frac{1,05}{11,25} = 0,093 \text{ т/м}^3.$$

Собівартість виробництва біометану становить:

$$C_{BM} = \frac{\rho_{PB}}{k_{BM}\tau_{FT}}(C_{LM} - C_{OF}) + E_{BM} = \frac{1,05}{0,75 \cdot 15}(190 - 150) + 7,02 = 3,29 \text{ грн/м}^3.$$

Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунку собівартості виробництва біометану

Показник	Позначення	Значення
для розрахунку економічних показників виробництва біометану		
Коефіцієнт, що враховує загальнопромислові витрати, відн. од.	k_{TE}	0,05
Коефіцієнт, що враховує загальногосподарські витрати, відн. од.	k_{GEE}	0,1
Відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки, грн/м ³	MAR_{BM}	4,02
Вартість витраченої електричної енергії на виробництво, грн/м ³	EL_{BM}	1,2
Фонд заробітної плати персоналу з нарахуваннями, грн/м ³	S_{BM}	0,88
для розрахунку кількості біомаси, потрібної для отримання 1 м ³ біометану за весь час зброджування		
Густина біомаси вологістю 92 % для переробки в біогазовому реакторі, т/м ³	ρ	1,05
Вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора, м ³ /м ³ добу	k_{BM}	0,75
Час утримання біомаси в реакторі під час зброджування, діб	t	15
для розрахунку собівартості виробництва біометану		
Ціна біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі, грн/т	C_{LM}	150
Ціна органічних добрив після зброджування в біогазовому реакторі, грн/т	C_{OF}	190
Різниця цін біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі й органічних добрив після зброджування, грн/т	ΔC	40

Таблиця 3

Результати розрахунку економічних показників виробництва біометану

Показник	Позначення	Значення
Питомі виробничі витрати на виробництво біометану, грн/м ³	E_{BM}	7,02
Вихід біометану із 1 м ³ біомаси за весь час зброджування, м ³ /м ³	V_{BM}	11,25
Кількість біомаси, потрібної для отримання 1 м ³ біометану за весь час зброджування, т/м ³	m_{BM}	0,093
Собівартість виробництва біометану, грн/м ³	C_{BM}	3,29
Ціна природного газу, грн/м ³	P_{NG}	15,5
Прибуток від виробництва біометану, грн/м ³	P_{BM}	12,21

Таблиця 4

Вихідні дані для розрахунку собівартості виробництва біометану

Ціна біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі C_{LM} , грн/т													
200	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	
Ціна органічних добрив після зброджування в біогазовому реакторі C_{OF} , грн/т													
40													
Різниця цін біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі та органічних добрив після зброджування (ΔC), грн/т													
-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
Собівартість виробництва біометану (C_{BM}), грн/м ³													
7,95	7,02	6,09	5,15	4,22	3,29	2,35	1,42	0,49	-0,45	-1,38	-2,31	-3,25	

Прибуток від виробництва біометану становить:

$$P_{BM} = P_{NG} - C_{BM} = 15,5 - 3,29 = 12,21 \text{ грн/м}^3.$$

P_{NG} – ціна природного газу, грн/м³.

Вихідні дані для розрахунку собівартості виробництва біометану наведені в таблиці 4, а результати – на рисунку 1.

Різниця цін біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі й органічних добрив після зброджування для забезпечення нульової собівартості біометану становитиме:

$$\Delta C = C_{OF} - C_{LM} = \frac{E_{BM} k_{BM} \tau_{FT}}{\rho_{PB}} = \frac{7,02 \cdot 0,75 \cdot 15}{1,05} = 75,21 \text{ грн/т.}$$

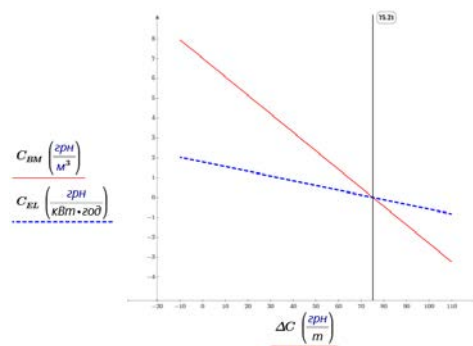


Рис. 1. Розрахунок собівартості виробництва електроенергії на основі біометану: C_{BM} – собівартість виробництва біометану, грн/м³; C_{EL} – собівартість виробництва електроенергії на основі біометану, грн/кВт·год

Приклад 2. Визначити собівартість виробництва електроенергії на основі біометану при анаеробному зброджуванні гноївки скотарських і свинарських ферм.

Вихідні дані для розрахунку економічних показників виробництва електроенергії на основі біометану, для розрахунку кількості біомаси, потрібної для отримання 1 кВт·год електроенергії на основі біометану за весь час зброджування та вихідні дані для розрахунку собівартості виробництва електроенергії на основі біометану наведені в таблиці 5, а результати розрахунків – у таблиці 6.

Питомі виробничі витрати на виробництво електроенергії на основі біометану становлять:

$$E_{EL} = (1 + k_{TE} + k_{GEE})(MAR_{EL} + EL_{EL} + S_{EL}) = (1 + 0,05 + 0,1)(1,04 + 0,32 + 0,24) = 1,85 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год.}$$

Вихід біометану із 1 м³ біомаси за весь час зброджування:

$$V_{EL} = k_{BM} \tau_{FT} = 0,75 \cdot 15 = 11,25 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Кількість біомаси, потрібної для отримання 1 кВт·год електроенергії на основі біометану за весь час зброджування:

$$m_{EL} = \frac{3,6 \rho_{PB}}{V_{EL} q_{BM} \eta_G} = \frac{3,6 \cdot 1,05}{11,25 \cdot 37 \cdot 0,38} = 0,024 \text{ т} / \text{кВт} \cdot \text{год.}$$

Собівартість виробництва електроенергії на основі біометану становить:

$$C_{EL} = \frac{3,6 \rho_{PB}}{V_{EL} q_{BM} \eta_G} (C_{LM} - C_{OF}) + E_{EL} = \frac{1,05}{0,75 \cdot 15} (190 - 150) + 1,85 = 0,89 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год.}$$

Прибуток від виробництва біометану становить:

$$P_{EL} = T_{EL} - C_{EL} = 3,3 - 0,89 = 2,41 \text{ грн} / \text{кВт} \cdot \text{год.}$$

Вихідні дані для розрахунку собівартості виробництва біометану наведені в таблиці 7, а результати – на рисунку 1.

Різниця цін біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі й органічних добрив після зброджування для забезпечення нульової собівартості електроенергії на основі біометану становитиме:

$$P_{EL} = T_{EL} - C_{EL} = 3,3 - 0,89 = 2,41 \text{ грн} / \text{кВт} \cdot \text{год.}$$

Таблиця 5

Вихідні дані для розрахунку собівартості виробництва електроенергії на основі біометану

Показник	Позначення	Значення
для розрахунку економічних показників виробництва електроенергії на основі біометану		
Коефіцієнт, що враховує загальнопромислові витрати, відн. од.	k_{TE}	0,05
Коефіцієнт, що враховує загальногосподарські витрати, відн. од.	k_{GEE}	0,1
Відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки, грн/кВт·год	MAR_{EL}	1,04
Вартість витраченої електричної енергії на виробництво, грн/кВт·год	EL_{EL}	0,32
Фонд заробітної плати персоналу з нарахуваннями, грн/кВт·год	S_{EL}	0,24
для розрахунку кількості біомаси, необхідної для отримання 1 кВт·год електроенергії на основі біометану за весь час зброджування		
Густина біомаси вологістю 92 % для переробки в біогазовому реакторі, т/м ³	ρ	1,05
Вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора, м ³ /м ³ добу	k_{BM}	0,75
Час утримання біомаси в реакторі під час зброджування, діб	t	15
Теплотворна здатність біометану, МДж/м ³	q_{BM}	37
Коефіцієнт корисної дії дизель-генератора при отриманні електроенергії, відн. од.	h	0,38
для розрахунку собівартості виробництва електроенергії на основі біометану		
Ціна біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі, грн/т	C_{LM}	150
Ціна органічних добрив після зброджування в біогазовому реакторі, грн/т	C_{OF}	190
Різниця цін біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі й органічних добрив після зброджування, грн/т	ΔC	40

Таблиця 6

Результати розрахунку економічних показників виробництва електроенергії на основі біометану

Показник	Позначення	Значення
Питомі виробничі витрати на виробництво біометану, грн/кВт·год	E_{EL}	1,85
Вихід біометану із 1 м ³ біомаси за весь час зброджування, м ³ /м ³	V_{EL}	11,25
Кількість біомаси, потрібної для отримання 1 кВт·год електроенергії на основі біометану за весь час зброджування, т/кВт·год	m_{EL}	0,024
Собівартість виробництва електроенергії на основі біометану, грн/кВт·год.	C_{EL}	0,89
Ціна електроенергії, грн/кВт·год	T_{EL}	3,3
Прибуток від виробництва електроенергії на основі біометану, грн/кВт·год.	P_{EL}	2,41

Таблиця 7

Вихідні дані для розрахунку собівартості виробництва електроенергії на основі біометану

Ціна біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі C_{LM} , грн/т												
200	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80
Ціна органічних добрив після зброджування в біогазовому реакторі C_{OF} , грн/т												
40												
Різниця цін біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі та органічних добрив після зброджування (ΔC), грн/т												
-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Собівартість виробництва електроенергії на основі біометану (C_{EL}), грн/кВт·год												
2,09	1,85	1,61	1,37	1,13	0,89	0,65	0,41	0,17	0,06	-0,3	-0,54	-0,78

ВИСНОВКИ. Різниця між ціною біометану та ціною рідкого гною перед ферментацією, а також потреба в біомасі для отримання одного м³ біометану та отримання однієї кВт·години електроенергії відіграють важливу роль в оцінці виробничих витрат виробництва біометану й електроенергії на основі біометану. Відомо, що вихід біогазу на добу з одиниці об'єму метантанка перебуває в межах від 1,0 до 1,7 м³·м⁻³ на добу. За наведених у роботі вихідних даних витрати виробництва біометану будуть нульовими, за різниці цін біомаси рідкого гною до зброджування в біогазовому реакторі й органічних добрив після зброджування – 75,2 грн/т. Нульовий прибуток у виробництві електроенергії буде тоді, коли ціна біометану буде нижчою за ціну рідкого гною перед ферментацією приблизно на 77,3 грн/т. Запропонована методика може бути корисною для економічної оцінки виробничих витрат під час проведення заходів з утилізації біометану та в навчальному процесі для підготовки біотехнологів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fuess, L.T., de Araújo Júnior, M. M. and Garcia, M. Designing full-scale biodigestion plants for the treatment of vinasse in sugarcane biorefineries: How phase separation and alkalization impact biogas and electricity production costs? *Chemical Engineering Research and Design*. 2017, Vol. 119, С. 209–220.

2. Lantz, M.; Prade, T.; Ahlgren, S.; Björnsson, L. Biogas and ethanol from wheat grain or straw: Is there a trade-off between climate impact, avoidance of iLUC and production cost? *Energies*. 2018, Vol. 11, 10. P. 2633.

3. Renda, R.; Gigli, E.; Cappelli, A.; Simoni, S.; Guerriero, E.; Romagnoli, F. Economic feasibility study of a small-scale biogas plant using a two-stage process and a fixed bio-film reactor for a cost-efficient production. *Energy Procedia*, 95. 2016. С. 385–392.

4. Прокіп, А.В. Еколого-економічна оцінка заміщення невідновлюваних енергоресурсів біологічно відновлюваними : монографія. Лівів : ЗУКЦ, 2010. С. 212.

5. Batzias, F. A., Sidiras, D. K. and Spyrou, E. K. Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. *Renewable Energy*. 2005. Vol. 30, 8, P. 1161–1176.

6. Кернасюк. Ю.В. Науково-методологічні підходи до визначення собівартості виробництва та економічної ефективності продукції біоенергетичної утилізації гною. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету*. Економічні науки: зб. наук. пр. – Кіровоград : КНТУ, 2010. Вип. 17. С. 164–171.

7. Доронін А.В. Ефективність виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах галузі скотарства України. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2015. № 11. С. 52–55.

8. Москаленко А.М. Економічна оцінка використання гною та його вплив на формування родючості ґрунтів. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2013. № 1-2(2). С. 308–316.

EFFICIENCY OF BIOGAS PRODUCTION IN AGRICULTURE

Gennadii Golub

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Tractors, Cars and Bioenergy Resources,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15, Heroiv Oborony st.,
Kyiv, Ukraine, 03041, gagolub@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2388-0405

Oleg Kepko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Applied Engineering and Labor Protection,
Uman National University of Horticulture, 1, Instytutska st., Uman,
Cherkasy Region, Ukraine, 20301, kepko@meta.ua
ORCID: 0000-0003-1443-307X

Oksana Yaremenko

Senior Engineer,
Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine,
20-a, Hnata Hotkevicha st., Kyiv, Ukraine, 02094, oksanalutak@ukr.net
ORCID: 0000-0001-5440-4682

Oleh Marus

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Tractors, Cars and Bioenergy Resources,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15, Heroiv Oborony st.,
Kyiv, Ukraine, 03041, marus_o@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1521-2885

Valentina Kepko

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Entrepreneurship, Trade and Exchange Activities,
Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1, Soborna sq., Bila Tserkva,
Kyiv region, Ukraine, 09117, valya.kepko@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6432-7211

Assessment of efficiency of biogas production and electric power on its basis in agricultural industry is impossible without assessment of economical efficiency of spent biomass as organic fertilizers. In Ukraine, where chernozem soils are the basis of agricultural products, the issue of restoring their fertility is an urgent problem. Farm animals manure combined with bed of straw is one of the best types of organic fertilizers. In this regard, the effectiveness of manure for the production of biomethane should also include the effectiveness of its use as organic fertilizers. The article suggests a methodology for assessing economic efficiency of biomethane and electricity production on its basis provided that the costs for the production of biomethane in agricultural enterprises include production costs for the preparation of biomethane minus the excess value of organic fertilizers over the value of manure taking into account the cost of organic fertilizers after fermentation in the biogas reactor. The technique is based on the calculation of such indicators as biomass requirement for 1 m³ of biomethane and biomass requirement to receive 1 kW of electricity per hour of fermentation. These values are 93.3 kg/m³ and 23.9 kg/kW·hour. Working cost of production of biomethane and electricity on the basis of biomethane is determined depending on the difference in prices of biomass of liquid manure to fermentation in biogas reactor and organic fertilizer after fermentation. Taking into account the current prices in Ukraine, the conditions for providing zero cost of biomethane production at the conditions of providing zero cost of electricity production on the basis of biomethane at the difference in prices of biomass of liquid manure to fermentation in biogas reactor and organic fertilizer after fermentation are established. The suggested methodology may be useful for economic effectiveness of manure disposal measures in biogas reactors.

Key words: biogas, biomethane, gas production, economic efficiency.

REFERENCES

1. Fuess, L. T., de Araújo Júnior, M. M., & Garcia, M. (2017). Designing full-scale biodigestion plants for the treatment of vinasse in sugarcane biorefineries: How phase separation and alkalization impact biogas and electricity production costs? *Chemical Engineering Research and Design*, 119, pp. 209–220.
2. Lantz, M.; Prade, T.; Ahlgren, S.; Björnsson, L. (2018). Biogas and ethanol from wheat grain or straw: Is there a trade-off between climate impact, avoidance of iLUC and production cost? *Energies*, 11(10), p. 2633.
3. Renda, R.; Gigli, E.; Cappelli, A.; Simoni, S.; Guerriero, E.; Romagnoli, F. (2016). Economic feasibility study of a small-scale biogas plant using a two-stage process and a fixed bio-film reactor for a cost-efficient production. *Energy Procedia*, 95, pp. 385–392.
4. Prokip, A.V. (2010). Ekolohe-ekonomichna otsinka zamishchennya nevidnovlyuvanykh enerhoresursiv biolohichno vidnovlyuvanymy: monohrafiya [Ecological and economic assessment of substitution of non-renewable energy resources by biologically renewable ones: monograph]. Lviv: WUCC.
5. Batzias, F.A., Sidiras, D.K., & Spyrou, E.K. (2005). Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. *Renewable Energy*, 30(8), pp. 1161–1176.
6. Kernasyuk, Yu.V. (2010). Naukovo-metodolohichni pidkhody do vyznachennya sobivartosti vyrobnytstva ta ekonomichnoyi efektyvnosti produktsiyi bioenerhetychnoyi utylizatsiyi hnoyu [Scientific and methodological approaches to determining the cost of production and economic efficiency of bioenergy]. *Scientific works of KNTU. Economic sciences* (17), pp. 164–171.
7. Doronin, A.V. (2015). Efektyvnist' vyrobnytstva biohazu v sil'skohospodars'kykh pidpryyemstvakh haluzi skotarstva Ukrayiny [Efficiency of biogas production in agricultural enterprises of cattle breeding industry of Ukraine]. *Scientific Bulletin of Kherson State University* (11), pp. 52–55.
8. Moskalenko, A.M. (2013). Ekonomichna otsinka vykorystannya hnoyu ta yoho vplyv na formuvannya rodyuchosti gruntiv [Economic evaluation of the use of manure and its impact on soil fertility formation]. *Bulletin of the Zhytomyr National Agro-ecological University* (1-2 (2)), pp. 308–316.