

ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМ ЗА РАХУНОК БІОГАЗУ

С. Є. Чернявський, О. В. Сокрут, кандидати сільськогосподарських наук
ДУ Інститут сільського господарства степової зони НААН України

Висвітлено результати досліджень ефективності використання різних компонентів сировини рослинного і тваринного походження як субстрату для біогазових установок з метою енерго-забезпечення тваринницьких ферм. Встановлено, що при загрузці біогазових установок сумішшю суданської трави, зеленої маси кукурудзи, силосу кукурудзяного з гноєм великої рогатої худоби та свиней, можливо з 20 кг такого субстрату отримати від 1,65 до 5,55 м³ біогазу, а в перерахунку на 1 т – це становить від 82,7 до 277,5 м³ біогазу. Здійснено розрахунок енергозабезпечення молочної ферми на 200 корів за рахунок виробництва біогазу з гною тварин і силосу кукурудзяного.

Ключові слова: суданська трава, зелена маса кукурудзи, силос кукурудзяний, гній, біогазо-генератор, анаеробне бродіння.

Останнім часом науковці та фахівці аграрної галузі багато уваги приділяють питанню енергозабезпечення виробничих процесів за рахунок біогазу [5, 6]. Біогаз – продукт мета-нового зброджування біомаси, який можна використовувати як природний газ, накопичувати, перекачувати, виробляти з нього електроенергію, використовувати як паливо для двигунів внутрішнього згорання і одночасно отримувати біодобрива [4, 7].

На тваринницьких фермах, де енергозабезпечення налагоджене за рахунок біогазу, сировиною слугує переважно гній свиней, великої рогатої худоби або пташиний послід [1,

9]. Разом з тим відомо, що продуктивною для виробництва біогазу є рослинна сировина [2, 8]. Тому актуальним є вивчення ефективності використання у біогазових установках суміші з сировини рослинного і тваринного походження за різного співвідношення цих компонентів.

У 2015 р. на базі лабораторії тваринництва Інституту сільського господарства степової зони нами проведено дослідження з вивчення ефективності виробництва біогазу з субстрату, складовими якого були три частки гною великої рогатої худоби або свиней і одна – сировини рослинного походження (суданська трава, зелена маса кукурудзи, або силос кукурудзяний) (табл. 1).

1. Схема дослідю

Метантенк	Період дослідю, днів	Співвідношення сировини	Маса субстрату при загрузці, кг	
			гній	рослинна сировина
I	90	Гній великої рогатої худоби, $\frac{3}{4}$ + суданська трава, $\frac{1}{4}$	15	5
II	90	Гній свиней, $\frac{3}{4}$ + суданська трава, $\frac{1}{4}$	15	5
III	90	Гній великої рогатої худоби, $\frac{3}{4}$ + зелена маса кукурудзи, $\frac{1}{4}$	15	5
IV	90	Гній свиней, $\frac{3}{4}$ + зелена маса кукурудзи, $\frac{1}{4}$	15	5
V	90	Гній великої рогатої худоби, $\frac{3}{4}$ + силос кукурудзяний, $\frac{1}{4}$	15	5
VI	90	Гній свиней, $\frac{3}{4}$ + силос кукурудзяний, $\frac{1}{4}$	15	5

Вміст органічної речовини та вологи у вхідній сировині та вихідній біомасі визначали за загальноприйнятими методиками [3]. Динаміка та вихід біогазу з діючої біогазової установки реєстрували об'ємним газовим лічильником. Температурний режим – мезофільний (34–35 °С), за допомогою автоматичного температурного реле. Економічну ефективність розраховували за рекомендаціями Ю. В. Кернасюка [4].

При вивченні водневого показника (рН) під час зброджування субстрату виявлено коливання його значень в межах 6,41–7,63, що свідчить про достатній рівень кислотності

для розвитку бактерій метаногенів (табл. 2).

2. Зміни водневого показника (рН) при анаеробному зброджуванні

Період бро- діння, днів	Метантенки					
	I	II	III	IV	IV	VI
1–30	6,43 ± 0,045	6,61 ± 0,057	6,53 ± 0,031	6,57 ± 0,045	6,41 ± 0,044	6,47 ± 0,032
31–60	7,35 ± 0,033	7,56 ± 0,045	7,34 ± 0,042	7,63 ± 0,039	7,39 ± 0,048	7,43 ± 0,051
61–90	7,40 ± 0,042	7,52 ± 0,055	7,44 ± 0,044	7,59 ± 0,033	7,48 ± 0,039	7,36 ± 0,053

Показники вмісту вологи та органічної речовини у вхідній сировині та вихідній біо-масі наведені в таблицях 3 та 4.

3. Вміст води та органічної речовини у вхідній сировині при анаеробному зброджуванні, %

Показник	Сировина				
	суданська трава	зелена маса кукурудзи	силос кукурудзяний	гній великої рогатої худоби	гній свиней
Вода	76,52	78,43	79,98	77,98	74,43
Органічна речовина	21,62	20,12	18,07	20,92	24,72

Експерименті дані свідчать, що більшого виходу біогазу можна добитися в разі вико-ристання субстрату, складниками якого є суданська трава і гній тварин: 2,54 (перший метан-тенк – з гноєм великої рогатої) та 2,78 м³ (другий метантенк – з гноєм свиней). Дещо нижчим був цей показник для сировини рослинного походження (зелена маса кукурудзи) – відповід-но 2,34 та 2,57 м³. Продуктивність метантенків, де субстрат містив силос кукурудзяний, гній великої рогатої худоби та свиней, становила відповідно 1,65 та 1,89 м³.

4. Вміст води та органічної речовини у вихідній біомасі при анаеробному зброджуванні, % (90 днів досліджень)

Показник	Метантенки					
	I	II	III	IV	V	VI
Вода	73,62	72,85	75,44	74,80	78,56	77,80
Органічна речовина	25,19	26,12	23,62	24,23	20,78	21,30

За результатами проведених нами досліджень в 2011–2015 рр. визначено ефективність використання в біогазових установках субстрату з органічної сировини рослинного і тварин-ного походження в різних співвідношеннях компонентів. Результати продуктивності вказа-них складників (вихід біогазу з 1 т субстрату в перерахунку на умовне паливо) наведені в таблиці 5.

5. Результати продуктивності різних компонентів сировини в перерахунку на 1 т субстрату

Компоненти субстрату	Вихід біогазу з 1 т суб- страту, м ³	Вироблено біогазу в перерахунку на умовне паливо, кг
Силос кукурудзяний, ¹ / ₄ / гній великої рогатої худоби, ³ / ₄	82,7	72,1
Силос кукурудзяний, ¹ / ₄ / гній свиней, ³ / ₄	94,5	82,4
Силос кукурудзяний, ¹ / ₂ / гній великої рогатої худоби, ¹ / ₂	112,5	98,1
Силос кукурудзяний, ¹ / ₂ / гній свиней, ¹ / ₂	123,0	107,3
Силос кукурудзяний, ³ / ₄ / гній великої рогатої худоби, ¹ / ₄	146,5	127,8
Силос кукурудзяний, ³ / ₄ / гній свиней, ¹ / ₄	151,0	131,7
Зелена маса кукурудзи, ¹ / ₄ / гній великої рогатої худоби, ³ / ₄	116,8	101,8

Зелена маса кукурудзи, $\frac{1}{4}$ / гній свиней, $\frac{3}{4}$	128,6	112,1
Зелена маса кукурудзи, $\frac{1}{2}$ / гній великої рогатої худоби, $\frac{1}{2}$	177,5	154,8
Зелена маса кукурудзи, $\frac{1}{2}$ / гній свиней, $\frac{1}{2}$	185,0	161,3
Зелена маса кукурудзи, $\frac{3}{4}$ / гній великої рогатої худоби, $\frac{1}{4}$	244,0	212,8
Зелена маса кукурудзи, $\frac{3}{4}$ / гній свиней, $\frac{1}{4}$	247,5	215,8
Суданська трава, $\frac{1}{4}$ / гній великої рогатої худоби, $\frac{3}{4}$	127,3	111,0
Суданська трава, $\frac{1}{4}$ / гній свиней, $\frac{3}{4}$	139,1	121,3
Суданська трава, $\frac{1}{2}$ / гній великої рогатої худоби, $\frac{1}{2}$	197,5	172,2
Суданська трава, $\frac{1}{2}$ / гній свиней, $\frac{1}{2}$	205,0	178,8
Суданська трава, $\frac{3}{4}$ / гній великої рогатої худоби, $\frac{1}{4}$	274,0	239,0
Суданська трава, $\frac{3}{4}$ / гній свиней, $\frac{1}{4}$	277,5	242,0

При розрахунку моделі енергетичної системи, максимально незалежної від зовнішніх джерел енергії, прийнята молочна ферма на 200 корів та молодняку різного віку (без сіль-госпугідь), яка використовує електричну, теплову енергію та моторне паливо, а одержана альтернативна енергія витрачається в замкнутій системі виробництва. До уваги не беруться витрати енергії на виробництво і доставку кормів на територію ферми та їх складування, а також на транспортування готової продукції (молока, забійної худоби і біодобрих). У таблиці 6 наведено енергетичну добову потребу електроенергії, тепла і нафтопродуктів такої молочної ферми.

Розрахункова потреба енергії для технологічного процесу молочної ферми становить 441,5 кг умовного палива на добу. Враховуючи коливання потреби енергії залежно від погодних та сезонних чинників, дану кількість слід збільшити на 30 %, або на 132,5 кг (як страховий фонд). При цьому загальна енергетична потреба ферми становить 574 кг умовного палива (табл. 7).

6. Енергетична добова потреба електроенергії, тепла та нафтопродуктів по фермі

Споживачі енергії	Вид енергії	Загальна потужність, кВт	Добова тривалість роботи, год.	Потреба енергії на добу	
				кВт	умовне паливо, кг
Доїльна установка Європаралель 2×10	Електроенергія	7	4	28	3,44
	Тепло	4	5	20	2,46
Очищувач молока	Електроенергія	5	4	20	2,46
Молочний танк-охолоджувач	Електроенергія	2	24	48	5,90
Артезіанська свердловина	Електроенергія	5	6	30	3,68
Термоавтопоїлка	Електроенергія	4 × 0,15	24	14,4	1,77
Освітлення	Електроенергія	4	12	48	5,90
Опалення технологічного приміщення	Тепло	25	24	600	73,7
Опалення побутового приміщення	Тепло	6	24	144	17,69
Всього				952,4	117
2 трактори МТЗ-82	Дизельне паливо	2/81 к. с.*	8	218,4**	324,5
Всього умовного палива					441,5

7. Добова потреба енергії для забезпечення технологічного процесу ферми

Показник	Умовного палива, кг	В тому числі: (в умовному паливі), кг		
		електроенергії	тепла	нафтопродуктів
Енергетична потреба	441,5	23,15	93,85	324,5
Страховий резерв, 30 %	132,5	6,95	28,15	97,35
Загальна енергетична потреба	574	30,1	122	421,85

Планове поголів'я ферми (200 корів та 300 голів молодняка різного віку) забезпечує добовий вихід гною 18 т, переробка якого разом із силосом кукурудзяним у співвідношенні 3:1 дає можливість виробити з такого субстрату 1984,8 м³ біогазу, або 1730,7 кг умовного палива на добу (табл. 8).

**8. Добове виробництво біогазу з органічної сировини
(силос кукурудзяний/гній великої рогатої худоби)**

Компоненти субстрату	Кількість сировини в субстраті, т	Виробництво біогазу	
		м ³	в перерахунку на умовне паливо, кг
Гній великої рогатої худоби	18,0	1984,8	1730,7
Силос кукурудзяний	6,0		
Всього субстрату	24		

Виходячи з наведених розрахунків енергетичний баланс ферми, який враховує енергію, що була використана на підтримання анаеробного процесу в біореакторі, товарну енергію, яка може бути використана на фермі та загальну потребу в енергії (для заміни нафто-продуктів, одержання технологічного тепла, одержання електроенергії) наведено у таблиці 9.

Для функціонування біогазоенергетичної установки (підтримання мезофільного режими-му та роботи електрообладнання) когенератор споживає 25 % виробленого біогазу (432,7 кг умовного палива). Останній також використовує товарний біогаз для одержання технологічного тепла і електроенергії для підтримання в робочому режимі обладнання ферми (відповідно 122 та 30,1 кг умовного палива). Дизельне паливо в кількості 324,5 кг умовного палива на добу, яке необхідне для роботи тракторів, замінюється очищеним біогазом.

9. Добовий енергетичний баланс ферми

Розподіл енергетичного ресурсу	Умовного палива, кг
Одержано енергії від біогазу	1730,7
Використано на підтримання анаеробного процесу в біореакторі	432,7
Товарна енергія, яка може бути використана на фермі	1298,0
Загальні потреби енергії:	574
з них для: заміни нафтопродуктів	421,85
одержання технологічного тепла	122
отримання електроенергії	30,1
Резервний надлишок	724,0

Таким чином, технологічний процес молочної ферми на 200 корів може бути повністю енергетично незалежним від зовнішніх джерел енергії при використанні в біогазових установках суміші гною великої рогатої худоби та силосу кукурудзяного як ресурсів сировини.

10. Розрахунок собівартості виробництва біогазу з гною великої рогатої худоби та силосу кукурудзяного

Показник	Одиниця виміру	Обсяг завантаження гною в біогазову установку, т/добу				
		20	40	60	80	100
Займана площа	га	0,20	0,25	0,30	0,45	0,50
Вихід біогазу на добу	м ³	1654	3308	4962	6616	8270
Вихід біогазу на 1 т субстрату	м ³	82,7	82,7	82,7	82,7	82,7
Виробництво біогазу за рік	тис. м ³	603,7	1207,4	1811,1	2414,8	3018,6
Обслуговуючий персонал	чоловік	1	1	1	1	1
Оплата праці разом із нарахуваннями	тис. грн	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3

Обсяг надходження гною на добу	т	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0
Обсяг надходження гною за рік	тис. т	5,5	11,0	16,4	21,9	27,4
Собівартість 1 т гною	грн	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1
Разом витрат на видалення гною	тис. грн	110,5	221,1	329,6	440,2	550,7
Обсяг силосу кукурудзяного на добу	т	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
Обсяг надходження силосу кукурудзяного за рік	тис. т	1,8	3,6	5,5	7,3	9,1
Собівартість 1 т силосу	грн	300	300	300	300	300
Разом витрат на отримання силосу	тис. грн	540	720	1100	1460	1820
Амортизація, всього	тис. грн	387,8	487,7	551,0	611,0	689,3
Поточний ремонт, всього	тис. грн	119,4	147,7	168,6	187,8	212,5
Електрична потужність	кВт·год.	10	15	20	25	30
Споживання електроенергії за рік	тис кВт·год.	87,6	131,4	175,2	219,0	262,8
Вартість 1 кВт·год.	грн	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Разом витрат на електроенергію	тис. грн	67,5	101,2	134,9	168,6	202,4
Теплова потужність	тис. грн	35	70	105	140	175
Споживання теплової енергії за рік	тис. кВт·год.	306,6	613,2	919,8	1226,4	1533,0
Вартість 1 кВт·год.	грн	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Разом витрат на теплову енергію	тис. грн	236,1	472,2	708,2	944,3	1180,4
Інші витрати	тис. грн	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Всього витрат на виробництво	тис. грн	1503,6	2552,2	3584,6	4584,2	5607,6
Загальновиробничі витрати	тис. грн	75,2	127,6	179,2	229,2	280,4
Разом усіх витрат	тис. грн	1578,8	2679,8	3763,8	4813,4	5888,0
Витрати на збут	тис. грн	78,9	134,0	188,2	240,7	294,4
Повна собівартість продукції	тис. грн	1657,7	2813,8	3952,0	5054,1	6182,4

В таблицях 10 та 11 наведені розрахунки собівартості та окупності виробництва біо-газу для установок різної потужності з переробки субстрату, компонентами якого є гній великої рогатої худоби та силос кукурудзяний у співвідношенні 3:1 [5].

11. Економічна ефективність виробництва біогазу із субстрату гною великої рогатої худоби та силосу кукурудзяного

Показник	Одиниця виміру	Обсяг завантаження субстрату, т/добу				
		20	40	60	80	100
Вартість валової енергії одержаної за рік	тис. грн	2324,2	4648,5	6972,7	9297,0	11621,6
Загальний прибуток	тис. грн	666,5	1834,4	3020,7	4242,9	5439,2
Капітальні вкладення	тис. грн	6708,3	8206,6	9432,5	10539,2	11952,4
Окупність обладнання	років	10,1	4,5	3,1	2,5	2,2

Розрахунки показали, що переробка субстрату з гною великої рогатої худоби та сило-су кукурудзяного у співвідношенні 3:1 в кількості від 20 до 100 т/добу дозволяє отримати загальний річний прибуток від виробництва біогазу в межах 666,5–5439,8 тис. грн, при цьому період окупності становить від 10,1 до 2,2 років.

Висновки

Використання суміші суданської трави, зеленої маси кукурудзи, силосу кукурудзяного, гною великої рогатої худоби та свиней як сировини для біогазових установок дає можливість з 20 кг субстрату одержати від 1,65 до 5,55 м³ біогазу, що в перерахунку на 1 т субстрату становить 82,7–277,5 м³ біогазу, або 72,1–242,0 кг умовного палива.

При переробці субстрату, складовими якого є гній великої рогатої худоби та силос кукурудзяний у співвідношенні 3:1 в кількості від 20 до 100 т/добу можна отримати загальний річний прибуток від виробництва біогазу в межах від 666,5 до 5439,8 тис. грн,

а період окупності витрат на придбання біогазової установки становитиме від 12,0 до 1,5 року.

Визначені за результатами досліджень показники виходу біогазу з субстрату в зазначених вище співвідношеннях компонентів сировини рослинного і тваринного походження можуть бути використані при розрахунку прогнозованої продуктивності біогазових устано-вок для енергозабезпечення тваринницьких ферм.

Бібліографічний список

1. *Анискин В. И.* Топливо из сельскохозяйственной биомассы / *В. И. Анискин, А. В. Голубко-вич, К. К. Курбанов* // Энергия: экономика, техника, экология. – 2005. – № 1. – С. 47–51.
2. *Дедух Д. Г.* Достоинства и недостатки энергетики на нетрадиционном сырье / *Д. Г. Де-дух* // Актуальные проблемы современной науки. – 2004. – № 6. – С. 412–416.
3. Зоотехнический анализ кормов / [*Е. А. Петухова, Р. Ф. Бессарабова, Л. Д. Халанева, О. А. Антонова*]. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
4. *Кернасюк Ю. В.* Методологічні підходи до визначення собівартості виробництва та економічної ефективності продукції біоенергетичної утилізації гною: [метод. рекомендації] / *Кернасюк Ю. В.* – Кіровоград: Кіровоградський ін-т АПВ НААН, 2010. – 24 с.
5. *Комков В. А.* Экологические и технические аспекты создания нетрадиционных источников энергии / *Комков В. А.* – М., 1998. – 176 с.
6. *Перминов Э. М.* Вопросы развития малой нетрадиционной энергетики / *Э. М. Перминов* // Вести в электроэнергетике. – 2004. – № 3. – С. 27–32.
7. *Ратушняк Г. А.* Інтенсифікація теплообміну та термостабілізація біореакторів / *Г. А. Ра-тушняк, В. В. Джеджула* // Вісн. ВПІ. – 2006. – № 2. – С. 26–31.
8. *Сорокин О. А.* Переработка отходов сельскохозяйственного производства биоконверсией / *О. А. Сорокин* // Промышленная энергетика. – 2005. – № 8. – С. 39–45.
9. *Reinhold J.* Einordnung von Komposten in die «Gute fachliche Dündungs praxis» unter besonderer berucksichtigung der Humusversorgung landwirtschaftlicher / *J. Reinhold.* – Boden: Rostok VDLUFA, 2004. – P. 116.