

## СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК ШЛЯХОМ КОФЕРМЕНТАЦІЇ СИРОВИНИ РОСЛИННОГО І ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

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

*Висвітлені результати досліджень ефективності використання гною великої рогатої худоби, свиней та пташиного посліду як коферментів для анаеробного зброджування суданської трави, зеленої маси кукурудзи, силосу кукурудзяного у біогазових установках. Приведені розрахунки енерго-забезпечення молочної ферми на 100 корів, в умовах якої сировиною для біогазової установки слугували гній тварин та силос кукурудзяний.*

**Ключові слова:** суданська трава, зелена маса кукурудзи, силос кукурудзяний, гній, біогазоге-нератор, анаеробне бродіння.

В умовах підвищення ціни на традиційні енергоносії особливо актуальним стає завдання з розробки технологій по використанню альтернативних джерел енергії для задоволення потреб сільськогосподарського виробництва, в тому числі й тваринництва [1, 3, 7].

Для агропромислового комплексу цікавим є питання одержання енергії біогазу за рахунок переробки відходів сільськогосподарського виробництва (гною, кормових залишків) та рослинної сировини (як спеціально вирощених культур, так і відходів рослинництва). Експериментальні дослідження показали, що з точки зору вироблення біогазу більш продуктивною є рослинна сировина, проте на фермах існує проблема утилізації гною, який теж є джерелом метану [2, 5, 8].

Серед шляхів вдосконалення процесу зброджування біосировини для виробництва біогазу та переробки її на добриво є розробка ефективних прийомів коферментації (поєднання при зброджуванні різних видів сировини) [4, 6].

У наших дослідках використано як коферменти гній великої рогатої худоби, свиней, пташиний послід і рослинну сировину (суданську траву, зелену масу кукурудзи, силос кукурудзяний). Дослідження проведені на експериментальних біогазових установках БГУ-3 та БГУ-5 (рис.) в лабораторії тваринництва ДУ Інститут сільського господарства степової зони. Схема дослідів наведена в таблиці 1.

### 1. Схема дослідів

Мета-тенки	Період дослідів, днів	Співвідношення коферментів	Маса коферментів при загрузці, кг		
			гній	рослинна сировина	пташиний послід
I	90	гній ВРХ + суданська трава + пташиний послід	5	15	1
II	90	гній свиней + суданська трава + + пташиний послід	5	15	1
III	90	гній ВРХ + зелена маса кукурудзи + + пташиний послід	5	15	1
IV	90	гній свиней + зелена маса кукурудзи + + пташиний послід	5	15	1
V	90	гній ВРХ + силос кукурудзяний + + пташиний послід	5	15	1
VI	90	гній свиней + силос кукурудзяний + + пташиний послід	5	15	1

Вивчення водневого показника (рН) під час зброджування сировини, що складалася з таких компонентів, як суданська трава, зелена маса кукурудзи, силос кукурудзяний, гній ВРХ, свиней та пташиний послід, свідчить про значне коливання (в межах 6,34–7,72) та зростання його значень протягом дослідів (табл. 2).



*Рис. Лабораторні біогазогенератори БГУ-3; БГУ-5.*

## **2. Зміни водневого показника (рН) при анаеробному зброджуванні**

Період бродіння, днів	Метантенки					
	I	II	III	IV	IV	VI
1–30	6,63 ± 0,03	6,72 ± 0,03	6,60 ± 0,05	6,51 ± 0,04	6,34 ± 0,03	6,34 ± 0,04
31–60	7,64 ± 0,04	7,72 ± 0,05	7,44 ± 0,04	7,62 ± 0,03	7,50 ± 0,03	7,37 ± 0,05
61–90	7,55 ± 0,03	7,43 ± 0,04	7,28 ± 0,04	7,34 ± 0,05	7,19 ± 0,03	6,27 ± 0,04

Дослідження показали, що більш продуктивним з точки зору отримання біогазу був субстрат, що складався з суданської трави та гною тварин з пташиним послідом: 5,68 (перший метантенк з гноєм ВРХ) та 5,72 м<sup>3</sup> (другий метантенк з гноєм свиней). Дещо нижчими були показники для сировини, складовою якої була зелена маса кукурудзи – відповідно 5,10 та 5,14 м<sup>3</sup>. Продуктивність метантенків, в які закладали субстрат із силосу кукурудзяного, пташиного посліду з гноєм ВРХ, становила 2,99 м<sup>3</sup>, з гноєм свиней – 3,04 м<sup>3</sup> (табл. 3). В таблиці 3 наведено показники продуктивності енергетичної цінності різних компонентів субстрату в перерахунку на 1 т.

## **3. Кількість отриманого біогазу при анаеробному зброджуванні**

Показник	Метантенки					
	I	II	III	IV	V	VI
Сировина	суданська трава + + гній ВРХ + + пташиний послід	суданська трава + + гній свиней + + пташиний послід	зелена маса кукурудзи + + гній ВРХ + + пташиний послід	зелена маса кукурудзи + + гній свиней + + пташиний послід	силос кукурудзяний + + гній ВРХ + + пташиний послід	силос кукурудзяний + + гній свиней + + пташиний послід
Кількість отриманого біогазу, м <sup>3</sup>	5,68	5,72	5,10	5,14	2,99	3,04

Показники вмісту органічної речовини і води у вхідній сировині та вихідній біома-сі наведені в таблицях 4 та 5.

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

Показник	Метантенки					
	суданська трава	зелена маса кукурудзи	силос кукурудзяний	гній великої рогатої худоби	гній свиней	пташиний послід
Вода	75,44	78,35	80,58	78,27	74,34	75,48
Органічна речовина	22,63	20,22	17,44	20,86	24,79	23,62

#### 5. Вміст води та органічної речовини у вихідній біомасі при анаеробному зброджуванні, % (впродовж 90 днів)

Показник	Метантенки					
	I	II	III	IV	V	VI
Вода	79,05	78,73	81,64	81,30	83,53	83,16
Органічна речовина	19,43	19,70	17,22	17,53	14,86	15,17

Результати проведених досліджень свідчать про можливість використання рослинної сировини з гноєм тварин та пташиним послідом як коферментів для біогазових установок з метою енергозабезпечення тваринницьких ферм. На підставі отриманих даних можна запропонувати певну систему коферментації компонентів рослинного і тваринного походження для виробництва біогазу.

В умовах великих тваринницьких комплексів з потужними біогазовими установками переважно використовують гній ВРХ та свиней. Для установок меншої потужності у не-великих агроформуваннях або фермерських господарствах краще брати сировину рослинного і тваринного походження за різного співвідношення компонентів. Результати продуктивності таких компонентів в перерахунку на 1 т субстрату представлені в таблиці 6.

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

Компоненти субстрату	Вихід біогазу з 1 т субстрату, м <sup>3</sup>	Вироблено біогазу в перерахунку на умовне паливо, кг
Силос кукурудзяний, $\frac{1}{2}$ + гній ВРХ, $\frac{1}{2}$	112,5	98,1
Силос кукурудзяний, $\frac{1}{2}$ + гній свиней, $\frac{1}{2}$	123,0	107,3
Силос кукурудзяний, $\frac{3}{4}$ + гній ВРХ, $\frac{1}{4}$	146,5	127,8
Силос кукурудзяний, $\frac{3}{4}$ + гній ВРХ, $\frac{1}{4}$ + пташиний послід, $\frac{1}{20}$	149,5	130,4
Силос кукурудзяний, $\frac{3}{4}$ + гній свиней, $\frac{1}{4}$	151,0	131,7
Силос кукурудзяний, $\frac{3}{4}$ + гній свиней, $\frac{1}{4}$ + пташиний послід, $\frac{1}{20}$	152,0	132,6
Зелена маса кукурудзи, $\frac{1}{2}$ + гній ВРХ, $\frac{1}{2}$	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 ВРХ, $\frac{1}{4}$	244,0	212,8
Зелена маса кукурудзи, $\frac{3}{4}$ + гній свиней, $\frac{1}{4}$	247,5	215,8
Зелена маса кукурудзи, $\frac{3}{4}$ + гній ВРХ, $\frac{1}{4}$ + пташиний послід, $\frac{1}{20}$	255,0	222,4
Зелена маса кукурудзи, $\frac{3}{4}$ + гній свиней, $\frac{1}{4}$ + пташиний послід, $\frac{1}{20}$	257,0	224,1
Суданська трава, $\frac{1}{2}$ + гній ВРХ, $\frac{1}{2}$	197,5	172,2
Суданська трава, $\frac{1}{2}$ + гній свиней, $\frac{1}{2}$	205,0	178,8
Суданська трава, $\frac{3}{4}$ + гній ВРХ, $\frac{1}{4}$	274,0	239,0
Суданська трава, $\frac{3}{4}$ + гній свиней, $\frac{1}{4}$	277,5	242,0
Суданська трава, $\frac{3}{4}$ + гній ВРХ, $\frac{1}{4}$ + пташиний послід, $\frac{1}{20}$	284,0	247,7
Суданська трава, $\frac{3}{4}$ + гній свиней, $\frac{1}{4}$ + пташиний послід, $\frac{1}{20}$	286,0	249,4

Розглянемо для прикладу енергозабезпечення молочної ферми на 100 корів з використанням для біогазової установки гною тварин та силосу кукурудзяного. В таблиці 7 представлена енергетична добова потреба електроенергії, тепла та нафтопродуктів такої молочної ферми.

#### 7. Енергетична добова потреба електроенергії, тепла та нафтопродуктів в умовах ферми

Споживачі енергії	Вид енергії	Загальна потужність, кВт	Добова тривалість роботи, годин	Потреба енергії, на добу	
				кВт	умовне паливо, кг
Доїльна установка	Електроенергія	7	4	28	3,44
Європаралель 2×10	Тепло	4	5	20	2,46
Очишувач 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

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, цю кількість слід збільшити на 30 %, або на 132,4 кг (як страхового фонду). При цьому загальна енергетична потреба ферми становить 574 кг умовного палива (табл. 8).

#### 8. 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 %	132,4	6,94	28,15	97,35
Загальна енергетична потреба	574	30,1	122	421,85

Так, якщо ферма розрахована на 100 корів, то добовий вихід гною 4,5 т, переробка якого з такою ж кількістю субстрату, наприклад, силосу кукурудзяного дає змогу виробити 1012,5 м<sup>3</sup> біогазу, або 883,0 кг умовного палива на добу (табл. 9).

#### 9. Добове виробництво біогазу з органічної сировини (силос кукурудзяний + гній великої рогатої худоби)

Компоненти субстрату	Кількість сировини в субстраті, т	Виробництво біогазу	
		м <sup>3</sup>	в перерахунку на умовне паливо, кг
Гній ВХР	4,5	1013,5	883,0
Силос кукурудзяний	4,5		
Всього субстрату	9		

Виходячи з наведених розрахунків, енергетичний баланс ферми з врахуванням енергії, що була використана на підтримання анаеробного процесу в біореакторі, товарну енергію, використану в умовах ферми, та загальну потребу в енергії (для заміни

нафтопродуктів, одержання технологічного тепла і електроенергії) наведений в таблиці 10.

Для функціонування біогазоенергетичної установки (підтримання мезофільного режими-му та роботи електрообладнання) когенератор споживає 25 % виробленого біогазу (220,75 кг умовного палива). Він також використовує товарний біогаз для одержання технологічного тепла і електроенергії, що споживається обладнанням ферми (відповідно 122 та 30,1 кг умовного палива).

#### 10. Добовий енергетичний баланс ферми

Розподіл енергетичного ресурсу	Умове паливо, кг
Одержано енергії в умовному паливі від біогазу, кг	883,0
Використано на підтримання анаеробного процесу в біореакторі, умовного палива, кг	220,75
Товарна енергія для використання в умовах ферми, умовного палива, кг	662,25
Загальні потреби енергії, умовного палива, кг,	574
з них для: заміни нафтопродуктів, кг	421,85
одержання технологічного тепла, кг	122
отримання електроенергії, кг	30,1
Резервний надлишок	88,25

Отже, технологічний процес молочної ферми на 100 корів може бути повністю енергетично незалежний від зовнішніх джерел енергії при використанні в біогазових установках суміші силосу кукурудзяного та гною ВРХ як сировини для анаеробного бродіння.

**Висновки.** Таким чином, за рахунок коферментації сировини рослинного (суданська трава, зелена маса кукурудзи, силос кукурудзяний) та тваринного (гній великої рогатої худоби, свиней, пташиний послід) походження можливо отримати з 21 кг субстрату від 2,99 до 5,72 м<sup>3</sup> біогазу.

Використання рослинної сировини з гноєм великої рогатої худоби та свиней і пташи-ним послідом може бути ефективним чинником підвищення енергетичної продуктивності біогазових установок та збільшення виходу біогазу. В перерахунку на 1 т субстрату енергетична продуктивність сировини за різного співвідношення її складових становила від 112,5 до 286,0 м<sup>3</sup> біогазу, або 98,1–249,4 кг умовного палива.

#### Бібліографічний список

1. Топливо из сельскохозяйственной биомассы / В. И. Анискин, А. В. Голубкович, К. К. Кур-банов // Энергия: экономика, техника, экология. – 2005. – № 1. – С. 47–51.
2. Дедух Д. Г. Достоинства и недостатки энергетики на нетрадиционном сырье / Д. Г. Дедух // Актуальные проблемы современной науки. – 2004. – № 6. – С. 412–416.
3. Закон України «Про альтернативні джерела енергії». – К.: 2003. – 9 с.
4. Зоотехнический анализ кормов. – 2-е изд., доп. и переб. / [Е. А. Петухова, Р. Ф. Бессара-бова, Л. Д. Халанева, О. А. Антонова]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
5. Комков В. А. Экологические и технические аспекты создания нетрадиционных источников энергии / В. А. Комков. – 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. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Die neue Düngeverordnung, HRSg: AID-Informdienst e. V., Heft Nr. – 2007. – 64 p.
8. Reinhold J. Eine Möglichkeit der Ableitung der Stickstoffwiersamkeit organischer Dünger aus stofflicher Zusammensetzung und Humusreproduktionsleistung einschliesslich Auswirkungngen auf die betriebliche Stickstoffbilanz, VDLUFA / J. Reinhold // Schriftenreihe. – Bonn, 2005. – Band 61.