Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 21-27
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.021-027

УДК 620.953 : 631.11

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

В. М. Поліщук[1], С. А. Шворов[1], Д. А. Дерев'янко[2], Т. С. Давиденко[1]

[1]Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
[2]Поліський національний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 162 – біотехнології та біоінженерія.

Кореспонденція авторів: polischuk.v.m@gmail.com; sosdok@i.ua; derevyanko.dmutro@gmail.com; davidenkotaras009@gmail.com.

Історія статті: отримано – січень 2020, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 14, рис. 1, табл. 2.

Анотація. Проведений аналіз економічної ефективності виробництва біогазу. Встановлено, що економічна ефективність діючих на даний момент в нашій країні біогазових установок, які працюють на тваринницьких відходах, дуже невисока. Жодна з них не має задовільного терміну окупності інвестицій (не менше десяти років за терміну експлуатації двадцять років). Вихід біогазу при зброджуванні гною ВРХ незначна і за результатами наших досліджень становить в середньому 0,7 л/год·кг СОР, що не дозволяє швидко окупатись капіталовкладенням навіть враховуючи "зелений" тариф на електроенергію, вироблену з біогазу. При додаванні косубстратів в незначній кількості до субстрату на основі гною ВРХ вихід біогазу, за нашими дослідженнями, збільшується до 1,4 л/год·кг СОР і вище. Проведене дослідження ефективності виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах на прикладі модельного господарства із стадом 1000 голів ВРХ (500 голів дійних корів і 500 голів молодняку і нетелів). Встановлена залежність питомих капітальних витрат на будівництво біогазового комплексу від його потужності. Оскільки в сільськогосподарських підприємствах обмежена можливість отримувати дешеві високопродуктивні косубстрати, які б дозволили суттєво підвищити вихід біогазу при зброджуванні гною ВРХ, в них доцільно впроваджувати переробні виробництва, наприклад переробку молока на молокопродукти і виробництво крохмалю із картоплі, яка тут вирощується. Відходи цих переробних підприємств здатні повність забезпечити біогазову установку високопродуктивними косубстратами, що дозволить отримати термін окупності біогазової установки на рівня 6,4 роки.

Ключові слова: біогаз, біогазова установка, гній ВРХ, субстрат, косубстрат, вихід біогазу, економічна ефективність, термін окупності, собівартість.

Постановка проблеми

Біоконверсія відходів тваринництва – найважливіша проблема сучасності. Вона пов'язана, з одного боку, з можливістю використання величезного енергетичного потенціалу біомаси для отримання газоподібного палива (біогазу), з іншого – для запобігання забруднення повітряного і водного басейнів, грунту і посівів завдяки утилізації та дезодорації стічних вод тваринницьких комплексів, переробної промисловості, а також отримання стерильних, високоефективних органічних добрив.

Разом із тим, в сучасний біогазовий комплекс необхідно вкладати суттєві капіталовкладення. А будь-які грошові інвестиції для швидкого отримання прибутку повинні якомога швидше окуповуватись. Тому економічна ефективність виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах має неабияке значення.

Аналіз останніх досліджень

Потенціал виробництва біометану з гною ВРХ в сільськогосподарських підприємствах становить в межах 390-1094 млн. м^3, з гною свиней – 116-583 млн. м^3, з посліду птахів – в середньому 1192 млн. м^3 [1]. Однак, за словами Юрія Епштейна, директора Акорд ЛТД, експерта в галузі альтернативної енергетики, економічна ефективність діючих на даний момент в нашій країні сільськогосподарських програм з отримання біогазу дуже невисока. Жодна з них не має задовільного терміну окупності інвестицій. Згідно з [2], термін окупності біогазових установок – не менше десяти років за терміну експлуатації двадцять років.

Згідно даних роботи [3], при обсязі завантаження гною ВРХ в біогазову установку від 20 до 100 т/добу собівартість виробництва 1000 м^3 біогазу може коливатись в межах 839-514 грн. В роботі [4] встановлено, що собівартість біогазу із гною ВРХ в перерахунку на метан становить 5,3 грн./м^3. Виробництво біогазу гною ВРХ в сільськогосподарських підприємствах забезпечить джерела відновлюваної енергії, які здатні зменшити залежність виробників від дорогих енергоносіїв, що сприятиме відродженню скотарства в Україні. При

цьому значна частина біогазу буде використовуватися передусім для власних потреб сільськогосподарських підприємств, проте, за умови використання відповідного обладнання, решту енергії можливо реалізовувати іншим споживачам. Можливе використання установок для одночасного виробництва електроенергії і тепла, а також спеціального обладнання для очищення біогазу і використання його як звичайного пального для автомобілів та іншої сільськогосподарської техніки. У районах, де щільність поголів'я тварин є високою і збереглися великотоварні підприємства із поголів'ям великої рогатої худоби понад 500 голів, доцільно організовувати біоенергетичні кластери із виробництва біогазу [5]. Ці кластери повинні об'єднувати потужні біогазові енергетичні комплекси, електростанції на базі когенераційних установок та станції з очищення біогазу для виробництва газоподібного палива і заправлення транспортних засобів.

Разом із тим, в літературних джерелах не досліджена економічна ефективність виробництва біогазу для конкретного господарства із визначеною кількістю сільськогосподарських тварин з використанням відходів переробних підприємств.

Мета досліджень

Мета дослідження – встановлення економічної ефективності виробництва біогазу в модельному господарстві із стадом 1000 голів ВРХ з використанням відходів переробних підприємств.

Результати досліджень

Ефективність виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах буде розглянута на прикладі модельного господарства із дійним стадом 1000 голів ВРХ (500 голів дійних корів і 500 голів молодняку і нетелів). В господарстві для заміни частини нафтового дизельного палива виробляється біодизель. Для підвищення родючості грунту і для потреб кормовиробництва використовуються відходи виробництва біогазу.

За інформацією, яка наводиться ТОВ "Теплосоюз Україна" [6] і підтверджується ТОВ "Галс Агро" із посиланням на європейський досвід реалізації аналогічних проектів, питомі капітальні витрати на будівництво біогазового комплексу з енергетичним блоком потужністю до 500 кВт становлять 3500 €/кВт, від 500 до 1000 кВт – 3000 €/кВт, від 1000 кВт і більше – 2000–2500 €/кВт, понад 5000 кВт – 1700 €/кВт. Залежність питомих капітальних витрат на будівництво біогазового комплексу від його потужності можна апроксимувати наступною функцією:

$$ПКВ_{БУ} = -258258 \cdot P + 3506659 \text{ при } R^2=0{,}9968, \quad (1)$$

де $ПКВ_{БУ}$ – питомі капітальні витрати на будівництво повністю укомплектованої біогазової установки, €/МВт; Р – потужність біогазової установки, МВт.

Основною сировиною для виробництва біогазу в сільському господарстві є гній. Гній ВРХ вже містить в собі иетаноутворюючі бактерії, що покращує бродіння. Однак вихід біогазу при зброджуванні гною ВРХ незначна і за результатами наших досліджень становить в середньому 0,7 л/год·кг сухої органічної речовини (СОР), що не дозволяє швидко окупатись капіталовкладенням навіть враховуючи "зелений" тариф на електроенергію, вироблену з біогазу. Для покращення виходу біогазу рекомендовано до субстрату додавати косубстрати (або замінювати ними воду чи дигестат, які додаються до субстрату для досягнення його оптимальної вологості). До таких косубстратів відносяться розмелене зерно хлібних злаків, сироватка, відходи крохмалевмісних виробництв, сирий гліцерин, фуз, соапсток, меляса, барда тощо. При додаванні вказаних косубстратів в незначній кількості до субстрату вихід біогазу, за нашими дослідженнями, збільшується до 1,4 л/год·кг СОР і вище. При цьому суттєво збільшувати розмір метантенку, доброджувача, резервуарів для дигестату не потрібно, оскільки об'єм сировини, що завантажується в метантенк, майже не збільшиться, що не викличе збільшення капіталовкладень.

Порівняння економічної ефективності виробництва біогазу із гною 1000 голів ВРХ без і з додаванням косубстратів наведене в табл. 1, при цьому матеріальний баланс виробництва біогазу встановлений за методикою, наведеною в [7]. При цьому вважалось, що оскільки сировиною для виробництва біогазу є відходи тваринництва і переробних виробництв, які функціонують в господарстві, і після перебродження будуть використані для відновлення родючості грунту в сільськогосподарському підприємстві, затрати на закупівлю сировини були відсутні.

Для збільшення виходу біогазу потрібно використовувати косубстрати. Перш за все, в якості косубстратів можна використати відходи від виробництва біодизеля: сирий гліцерин, фуз, соапсток. Вихід відходів від виробництва дизельного біопалива при вирощуванні ріпаку на площі 100 га наведено в табл. 2.

Слід зазначити, що макуха є чудовим концентрованим кормом для ВРХ і для потреб виробництва біогаз не використовується.

Для виходу біогазу в розмірі 1,4 л/год.·кг СОР, згідно із проведеними нами дослідженнями, достатньо додати до субстрату 0,75% сирого гліцерину, або 1,2% соапстоку, або 1,3% фузу. При цьому щодоби необхідно завантажувати в метантенк $58{,}8 \cdot 0{,}75/100 = 0{,}44$ т сирого гліцерину або $58{,}8 \cdot 1{,}2/100 = 0{,}71$ т соапстоку або $58{,}8 \cdot 1{,}3/100 = 0{,}76$ т фузу, щороку при річному часі роботи біогазової установки 340 діб (решта часу відводиться на різні види ремонту і технічного обслуговування) – 0,44·340=150 т сирого гліцерину або 0,71·340=241 т соапстоку або 0,76·340=258 т фузу.

При виробництві дизельного біопалива В5 із ріпаку, вирощеного на площі 100 га при врожайності 30 ц/га отримується 15,58 т сирого гліцерину, 2,61 т соапстоку і 3,895 т фузу.

Таблиця 1. Економічна ефективність виробництва біогазу із гною 1000 голів ВРХ
Table 1. Economic efficiency of biogas production from manure of 1000 cattle heads

Показник	Субстрат	
	гній ВРХ без косубстратів	гній ВРХ з косубстратами
Добове завантаження субстрату, всього, т/добу	58,8	58,8
Добове завантаження субстрату, всього, $м^3$/добу в т.ч. гною ВРХ води, дигестату, кліткового соку, мезги чи сироватки	56,5 40,0 16,5	56,5 40,0 16,5
Вихід біогазу в метантенку, л/год·кг СОР	0,7	1,4
$м^3$/добу	8745	17575
Вихід біогазу в доброджувачі (20%), м3/добу	1749	3515
Вихід біогазу загальний, м3/добу	10494	21090
Теплота згорання біогазу, МДж/$м^3$	18,6	18,6
Потужність (енергія виробленого біогазу), МДж/добу МДж/с (МВт) кВт·год./год. кВт·год./рік	 195661 2,265 2 265 18 479 070	 393230 4,551 4 551 37 138 423
ККД когенераційної установки, %		
- електричне	42	42
- теплове	48	48
- загальне	90	90
Вироблено енергії за рік, кВт·год/рік - електричної - теплової - загальної	 7 761 209 8 869 953 16 631 163	 15 598 138 17 826 443 33 424 581
Вартість біогазової установки, Євро грн.	6 616 707 191 884 510	10 610 189 307 016 667
Затрати на сировину, грн.	-	-
Собівартість виробництва біогазу, грн. грн./$м^3$	9 660 004 2,71	15 416 612 2,16
Ефективність за зеленим тарифом: Вартість електроенергії за "зеленим" тарифом, грн./кВт·год. Грошові надходження від продажу електроенергії, грн./рік Прибуток, грн./рік Термін окупності, років	 4,072 31 603 644 21 943 640 8,7	 4,072 63 234 267 47 817 655 6,4
Ефективність без зеленого тарифу: Вартість електроенергії без "зеленого" тарифу, грн./кВт·год. Грошові надходження від продажу електроенергії, грн./рік Прибуток, грн./рік Термін окупності, років	 2,54576 19 758 176 10 098 172 19,0	 2,54576 39 533 219 24 116 607 12,7

Таблиця 2. Вихід відходів від виробництва дизельного біопалива при вирощуванні ріпаку на 100 га
Table 2. Exit of waste from the production of diesel biofuel when rapeseed is grown on 100 ha

Відходи	Врожайність, ц/га				
	10	15	20	25	30
Макуха, т	64,17	96,29	128,41	160,53	192,65
Сирий гліцерин, т	5,19	7,79	10,38	12,98	15,58
Технічна вода, т, в т.ч. соапсток, т	5,88 0,87	8,83 1,31	11,77 1,74	14,71 2,18	17,66 2,61
Фуз, т	1,297	1,947	2,596	3,245	3,895

Оскільки нами встановлено, що для задоволення господарства в річній потребі на дизельне біопаливо В5 достатньо виростити ріпак на площі 8 га, вихід сирого гліцерину буде становити 15,58·8/100= =1,246 т/рік, соапстоку – 2,61·8/100=0,21 т/рік, фузу – 3,895·8/100=0,312 т/рік.

Отже, отриманий при виробництві дизельного біопалива сирий гліцерин може забезпечити потребу біогазової установки і косубстратах лише на 1,246·340/150=2,8 доби, соапсток – на 0,21·340/241= =0,3 доби, фуз – на 0,312·340/258=0,4 доби. Тобто, відходи біодизельного виробництва здатні забезпечити

косубстратом біогазову установку лише на протязі 2,8+0,3+0,4=3,5 діб.

Чудовим косубстратом є відходи підприємств громадського харчування. В господарстві існує столова, в якій харчуються близько 100 працівників. При приготуванні страв утворюються тверді побутові відходи (ТПВ), при харчуванні працівників – харчові відходи. Норматив утворення в столових ТПВ – 0,03 кг/добу на 1 блюдо, харчових відходів – 0,01 кг/добу на 1 блюдо [13]. Кількість блюд визначається технологами. Якщо кількість блюд невідома, для грубого визначення відходів одноразового харчування в столові людини норма утворення відходів множиться на 3,3 – (0,03+0,01)·3,3=0,04·3,3=0,132 кг/добу, на 100 працівників: 0,132·100=13,2 кг/добу. Відходи за рік при одноразовому харчуванні при 6-денному робочому тижні становлять 13,2· (362-12·4)=4145 кг/рік, або 4,145 т/рік. При триразовому харчуванні кількість відходів становить 4,145·3=12,435 т/рік. Відходи підприємств громадського харчування (при умові повного забезпечення ВРХ кормами) до субстрату доцільно додавати у кількості 5% від маси субстрату: 15,878·5/100=0,794 т/добу і їх вистачає на 12,435/0,794=15,7 діб.

В біогазових установках не прийнято різко змінювати склад субстрату, це може негативно сказатись на життєдіяльності метаноутворюючих бактерій, а отже, і на виході біогазу. Тому необхідно підібрати один чи два косубстрати, яких би вистачило на річну експлуатацію біогазової установки, а сирий гліцерин, фуз, соапсток залишались би в якості резерву, або їх можна в невеликій кількості на протязі року додавати до основного субстрату. Відходи підприємств громадського харчування в цьому випадку доцільно використовувати для кормових цілей [14].

В господарстві існує досить велике стадо корів – 500 шт. Середній надій молока в Україні за 2016 рік становив 4735 кг/рік від однієї корови [9, с. 326]. Від 500 дійних корів в господарстві буде отримано 4735·500=2367500 кг/рік, або 2367,5 т/рік молока, яке необхідно десь реалізовувати. Будемо вважати, що 20% молока йде на відгодівлю телят і на продаж населенню (2367,5·0,2=473,5 т/рік, 473,5/362=1,31 т/добу), решту 80% (2367,5·0,8=1894 т) доцільно переробляти в молокопродукти, оскільки молоко – продукт, який швидко псується. Для цього на території господарства недалеко від ферми можна збудувати мінімолокозавод продуктивністю близько 5000 л/добу орієнтовною вартістю 3,1 млн. грн. При цьому крім подовження терміну збереження молокопродукту вирішується проблема зайнятості сільського населення. Відходи від переробки молока можна використовувати як корм для тих же корів. Однак оскільки під кормові культури в господарстві відведені достатні площі с.-г. угідь, отримані відходи можна використати в якості косубстрату в біогазових установках.

Для спрощення розрахунку матеріального балансу будемо вважати, що на мінімолокозаводі виробляється лише один вид молоко продукції – кисломолочний сир, відходом від виробництва якого є сироватка. Теоретичний вихід молочної сироватки становить близько 90% від кількості сировини, що переробляється [10]. Із 1894 т молока отримується 1894·0,1=189 т кисломолочного сиру і 1894·0,9=1705 т кисломолочної сироватки. Нами експериментально встановлено, що при заміні сироваткою 55% води в субстраті вихід біогазу буде на рівні 1,4 л/добу·кг СОР. При цьому щодоби необхідно завантажувати 15,878·55/100=8,733 т, або 8,733·340=2970 т/рік сироватки. Виробленої сироватки в якості дигестату вистачить на 1705/8,733=195 діб роботи біогазової установки.

Такий мінімолокозавод може окупитись досить швидко. При вартості кисломолочного сиру нефасованого жирністю 10% на 2019 р. 80 грн./кг. річний прибуток від продажу 189 т становить 80·1000·189=15 120 000 грн. Якби все молоко здавалось на інший молокозавод, який не належить господарству, то при закупочній ціні на молоко другого ґатунку від с.-г. підприємств 7500 грн./т річний прибуток становив би 7500·1894=14 205 000 грн. Різниця прибутків від продажі кисломолочного сиру і здачі молока на переробку становить 15 120 000-14 205 000-925 000 грн. Термін окупності мінімолокозаводу в такому випадку становитиме 3100000/915000=3,4 роки, і це не враховуючи сироватки, яку однак важко реалізувати не в висушеному вигляді. Однак ще не вистачає косубстрату на 340-195=145 діб.

Для забезпечення біогазового виробництва в достатній кількості дешевих косубстратів рекомендується в господарстві організувати переробку с.-г. продукції з отриманням готового продукту і відходів, які можна використати в якості косубстрату.

Наприклад, це могло б бути виробництво крохмалю з картоплі. При переробці картоплі на крохмаль втрачається близько 20% сухої речовини сировини у вигляді картопляного соку і 20% у вигляді мезги. Відходи від переробки картоплі можна використовувати як корми для худоби, однак в свіжому вигляді вони довго не зберігаються, а для їх переробки з можливість тривалого зберігання потрібні додаткові капіталовкладення. Тому існує проблема утилізації цих відходів. Картопляний сік, дрібна мезга і колоїдний крохмаль утворюють концентровані стічні води. При традиційній технології виробництва крохмалю з кожної тонни тертої картоплі виділяється 0,75 м^3 концентрованого соку із забрудненням по біологічному споживанню кисню (БСК) 60000 мг О^2/л, який розбавляється технологічними стоками і дає 10-14 м^3 стічних вод. Крім втрат сировини необхідні значні витрати на очистку стоків, що утворюються [11].

За нашими дослідженнями, вихід біогазу становить 1,4 л/добу·кг СОР при вмісті 1,9% крохмалю в субстраті.

Якщо в якості косубстрату використовувати крохмаль (його потрібно 1,9% від маси субстрату), то потрібно 58,8·1,9/100=1,12 т/добу чистого крохмалю, або 1,12·145=162 т/рік чистого крохмалю.

В клітковому соку міститься 6% крохмалю, в меззі – 10% [12], в середньому – 8% крохмалю міститься у відходах. Тому для використання в якості косубстрату потрібно 162·100/8=2025 т/рік кліткового

соку і мезги.

Чистий крохмаль в кількості 162 т/рік, який є косубстратом для біогазової установки, становить 8% від всієї кількості крохмалю, що містилась в картоплі, яка перероблялась. Всього було перероблено 162·100/8=2025 т/рік крохмалю, який був використаний як в якості готового продукту (2025-162=1863 т/рік), так і як сировина для біогазової установки. Всього в картоплі міститься до 22% крохмалю. Отже, для отримання 2025 т/рік крохмалю необхідно переробити 2025·100/22=9200 т/рік картоплі. При дотриманні технології вирощування картоплі може становити 250 ц/га. При такій врожайності для отримання 9200 т картоплі потрібно засадити 9200/250/10=368 га с.-г. угідь.

Вартість міні лінії виробництва крохмалю продуктивністю 100 т/год. становить від $10000 до $55000. Вартість крохмалю на світовому ринку становить 550 $/т. Прибуток від продажу крохмалю становить 550·1863=931 500 $/рік, або 931500·26=24 219 000 грн./рік. Якщо ці 9200 т картоплі, із якої виробляється крохмаль, продати за оптовою ціною 2,5 грн./кг, господарство матиме грошові поступлення в розмірі 9200·1000·2,5=23 000 000 грн. Тому прибуток господарства від впровадження лінії з виробництва крохмалю замість продажу вирощеної картоплі становить 24219000-23000000=1 219 000 грн./рік. Термін окупності інвестицій в лінію виробництва крохмалю в цьому випадку становитиме від 10000·28/12019000=0,2 років до 55000·28/12019000= =1,2 років.

На рис. 1. наведена схема виробництва і використання біогазу в умовах сільськогосподарського підприємства.

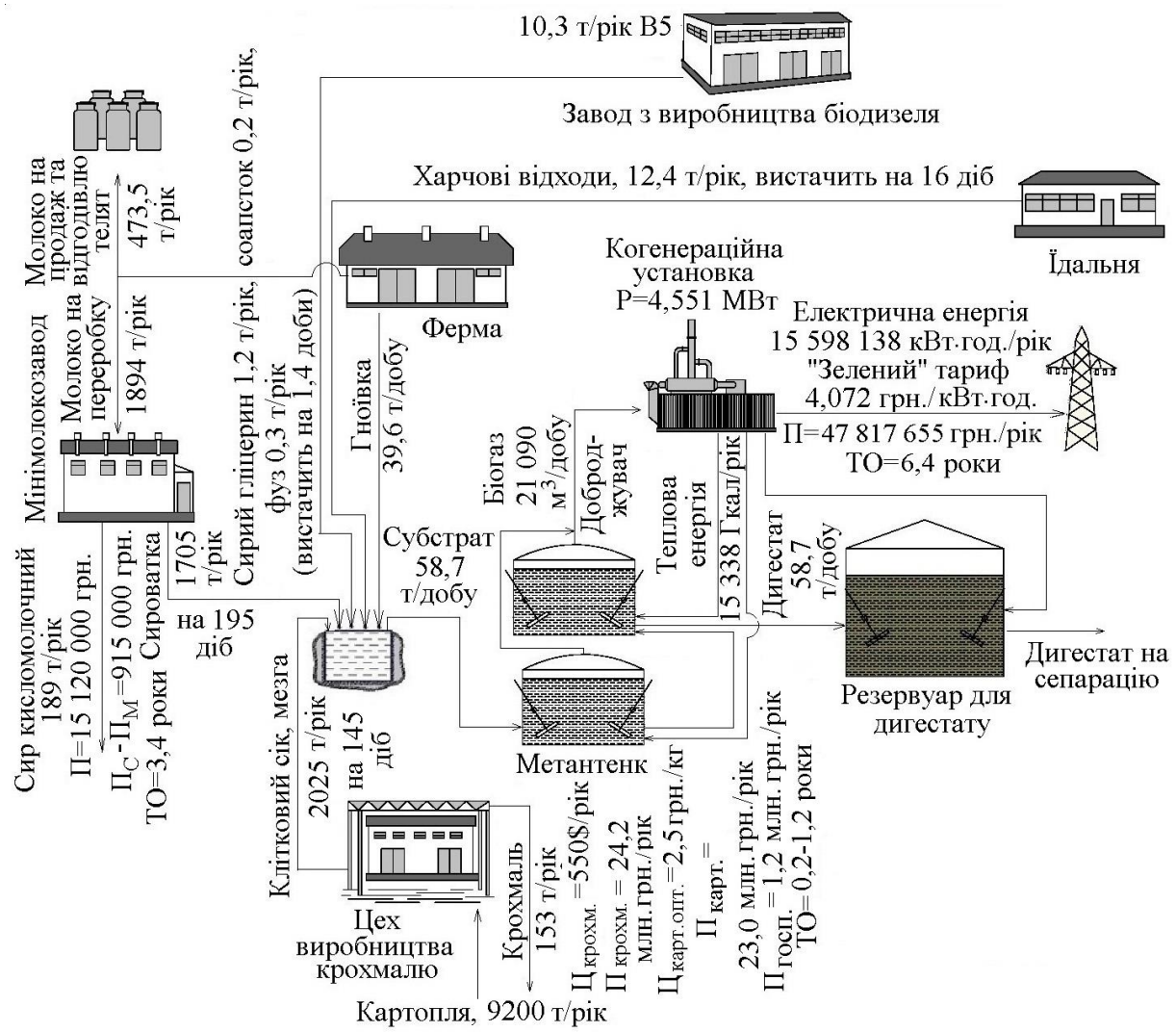

Рис. 1. Схема виробництва і використання біогазу в умовах сільськогосподарського підприємства.
Fig. 1. Scheme of production and use of biogas in an agricultural enterprise.

Висновки

1. В умовах сільського господарського підприємства тваринницького типу існує достатньо тваринницьких відходів (як правило, гною ВРХ), які можна використати в якості сировини для виробництва біогазу. Однак вихід біогазу із гною ВРХ недостатній для раціональної окупності капіталовкладень в біогазову установку. Для підвищення виходу біогазу до гною ВРХ необхідно додавати косубстрати, в якості яких можна використовувати відходи переробних виробництв.

2. В сільськогосподарському підприємстві доцільно впроваджувати переробні виробництва, наприклад переробку молока на молокопродукти і виробництво крохмалю із картоплі, яка тут вирощується. Відходи цих переробних підприємств здатні повність забезпечити біогазову установку високопродуктивними косубстратами, що дозволить отримати термін окупності біогазової установки на рівня 6,4 роки.

Список літератури

1. *Кернасюк Ю. В.* Потенціал виробництва біогазу в галузі тваринництва України. *Продовольчі ресурси*. 2019. № 12. С. 202–209.

2. *Кухарець С. М., Голуб Г. А., Медведський О. В., Лозовий А. С.* Напрямки використання біогазових установок в умовах аграрного виробництва. *Біоенергетичні системи в аграрному виробництві:* І всеукраїнська науково-практична конференція, м. Житомир, 16–17 листопада 2017 р.: тези доповіді. Житомир, 2017. С. 4–11.

3. *Кернасюк Ю. В.* Науково-методологічні підходи до визначення собівартості виробництва та економічної ефективності продукції біоенергетичної утилізації гною. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету*. 2010. Вип. 17. С. 164–171.

4. *Доронін А. В.* Ефективність виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах галузі скотарства України. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2015. Вип. 11. Ч. 3. С. 52–55.

5. *Кернасюк Ю. В.* Оцінка біогазового енергетичного потенціалу галузі скотарства у сільськогосподарських підприємствах. *АгроІнКом*. 2010. № 4–6. С. 46–49.

6. *Керсанюк Ю.* Біогазова альтернатива розвитку АПК України. *Агробізнес сьогодні*. 2013. № 18. С. 50–53.

7. *Поліщук В. М., Дубровін В. О., Драгнєв С. В., Лободко М. М., Дубровіна О. В.* Процеси та апарати біотехнологічних виробництв. Ч. 2. Визначення виходу гнойової біомаси при утриманні худоби і птиці: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін "Процеси та апарати біотехнологічних виробництв" для студентів сільськогосподарських вищих навчальних закладів 3-4 рівнів акредитації освітньо-кваліфікаційного рівня „Магістр" зі спеціальності 8.10010203 "Механізація сільського господарства". К.: АграрМедіаГруп, 2013. 20 с.

8. Безопасное обращение с отходами: сб. нормативно-методических док. 5-е изд. СПб: Интеграл, 2007. 576 с.

9. Статистичний щорічник України за 2016 рік. К.: Державна служба статистики України, 2017. 612 с.

10. *Соколова З. С., Лакомова Л. И., Тиняков В. Г.* Технология сыра и продуктов переработки сыроватки: учебник. М.: Агропромиздат, 1992. 335 с.

11. *Мерисаар М. Г.* Утилизация отходов картофелеперерабатывающей промышленности при кормлении сельскохозяйственных животных: автореф. дис. на получение научн. степени канд. с.-х. наук: спец. 06.02.02 "Кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов". Тарту, 1991. 24 с.

12. *Дышлюк Л. С., Асякина Л. К., Карчин К. В., Зимина М. И.* Изучение химического состава и показателей безопасности отходов картофельного производства. *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 3. [Электронный ресурс]. URL: https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13587 (дата доступа: 03.12.2018).

13. *Pylypaka, S.F., Nesvidomin, V.M., Klendii, M.B., Rogovskii, I.L., Kresan, T.A., Trokhaniak, V.I.* Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. 2019. Vol. 95. Issue 3. P. 108–118. DOI 10.31489/2019M2/108-119. WoS.

14. *Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T.* Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1. № 1/6 (97). P. 6−12. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156150. Scopus.

References

1. *Kernasyuk Yu.V.* (2019). Potential for biogas production in the livestock sector of Ukraine. Food resources. 12, 202−209.

2. *Kuharets S. M., Golub G. A. , Medvedsky O. V., Lozovy A. S.* (2017). Directions of use of biogas plants in the conditions of agricultural production. Proceedings from I All-Ukrainian Scientific and Practical Conference «Bioenergy systems in agricultural production». (pp. 4-11). Zhytomyr [in Ukrainian]

3. *Kernasyuk Yu.V.* (2010). Scientific and methodological approaches to determining the cost of production and economic efficiency of bioenergy manure utilization. Scientific papers of Kirovograd National Technical University. 17, 164−171.

4. *Doronin A. V.* (2015). Efficiency of biogas production in agricultural enterprises of the cattle breeding industry of Ukraine. Scientific Bulletin of Kherson State University. 11 (3), 52−55.

5. *Kernasyuk Yu.V.* (2010). Assessment of the biogas energy potential of the livestock sector in agricultural enterprises. AgroInCom. 4-6, 46−49.

6. *Kernasyuk Yu.V.* (2013). Biogas alternative to the development of agro-industrial complex of Ukraine. Agribusiness today. 18, 50−53.

7. *Polishchuk V. M., Dubrovin V. O., Dragnev S. V., Lobodko M. M., Dubrovina O. V.* (2013). Processes and devices of biotechnological industries. Part 2. Determination of biomass manure output during cattle and poultry keeping: methodical instructions for laboratory work in the disciplines "Processes and apparatus of biotechnological production" for students of agricultural higher educational establishments 3-4 levels of accreditation of educational and qualification level "Master's degree103 "3 "Mechanization of agriculture". Kyiv: AgrarMediaGroup, 20.

8. Waste Management. (2007). Saint Petersburg:

Integral. 576.

9. Statistical Yearbook of Ukraine for 2016. (2017). Kyiv: State Statistics Service of Ukraine. 612.

10. *Sokolova Z. S., Lakomova L. I., Tinyakov V. G.* (1992). Technology of cheese and cheese products. Moscow: Agropromizdat, 335.

11. *Merisaar M. G.* (1991). Disposal of waste from the potato industry for feeding farm animals. Extended abstract of candidate's thesis. Tartu. 24.

12. *Dyshlyuk L. S., Asyakina L. K., Karchin K. V., Zimina M. I.* (2014). Study of the chemical composition and safety indicators of potato waste. Modern problems of science and education, 3. Retrieved from https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13587 [in Ukrainian].

13. *Pylypaka, S.F., Nesvidomin, V.M., Klendii, M.B., Rogovskii, I.L., Kresan, T.A., Trokhaniak, V.I.* (2019). Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. Vol. 95. Issue 3. 108–118. WoS. DOI 10.31489/2019M2/108-119. WoS.

14. Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T. (2019). Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 1. № 1/6 (97). 6-12. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156150. Scopus.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В. Н. Полищук, С. А. Шворов, Д. А. Деревянко, Т .С. Давиденко

Аннотация. Проведен анализ экономической эффективности производства биогаза. Установлено, что экономическая эффективность действующих на данный момент в нашей стране биогазовых установок, работающих на животноводческих отходах, очень невысока. Ни одна из них не имеет удовлетворительного срока окупаемости инвестиций (не менее десяти лет при сроке эксплуатации двадцать лет). Выход биогаза при сбраживании навоза КРС незначителен и по результатам наших исследований составляет в среднем 0,7 л/ч·кг СОВ, что не позволяет быстро окупаться капиталовложениям, даже учитывая "зеленый" тариф на электроэнергию, производимую из биогаза. При добавлении косубстрата в незначительном количестве к субстрату на основе навоза КРС выход биогаза, по нашим исследованиям, увеличивается до 1,4 л/ч·кг СОВ и выше. Проведено исследование эффективности производства биогаза в сельскохозяйственных предприятиях на примере модельного хозяйства со стадом 1000 голов КРС (500 голов дойных коров и 500 голов молодняка и нетелей). Установлена зависимость удельных капитальных затрат на строительство биогазового комплекса от его мощности. Поскольку в сельскохозяйственных предприятиях ограничена возможность получать дешевые высокопроизводительные косубстраты, позволяющие существенно повысить выход биогаза при сбраживании навоза КРС, в них целесообразно внедрять перерабатывающие производства, например переработку молока на молочные продукты и производство крахмала из картофеля, которая здесь выращивается. Отходы этих перерабатывающих предприятий способны полностью обеспечить биогазовую установку высокопроизводительными косубстратами, что позволит получить срок окупаемости биогазовой установки на уровне 6,4 года.

Ключевые слова: биогаз, биогазовая установка, навоз КРС, субстрат, косубстрат, выход биогаза, экономическая эффективность, срок окупаемости, себестоимость.

EFFICIENCY OF PRODUCING BIOGAS IN AGRICULTURAL ENTERPRISES

V. M. Polishchuk, S. A. Shvorov, D. A. Derevianko, T. S. Davydenko

Abstract. The analysis of the economic efficiency of biogas production is carried out. It has been established that the economic efficiency of biogas plants operating on livestock waste currently operating in our country is very low. None of them have a satisfactory return on investment (at least ten years with a useful life of twenty years). Biogas yield during cattle manure fermentation is insignificant and according to the results of our research averages 0,7 l/h·kg dry organic matter, which does not allow us to quickly pay off investment, even taking into account the "green" tariff for electricity produced from biogas. By adding a small amount of cosubstrate to the substrate based on cattle manure, the biogas yield, according to our studies, increases to 1,4 l/h·kg dry organic matter and above. A study of the efficiency of biogas production in agricultural enterprises was carried out on the example of a model farm with a herd of 1000 head of cattle (500 head of dairy cows and 500 head of young and heifers). The dependence of specific capital costs for the construction of a biogas complex on its capacity has been established. Since agricultural enterprises have limited access to cheap, high-performance cosubstrates, which can significantly increase biogas output when cattle manure is fermented, it is advisable to introduce processing industries, for example, processing milk into dairy products and producing starch from potatoes, which are grown here. The waste from these processing plants is able to fully provide the biogas plant with high-performance cosubstrates, which will make it possible to obtain a payback period of the biogas plant at the level of 6,4 years.

Key words: biogas, biogas plant, cattle manure, substrate, cosubstrate, biogas yield, economic efficiency, payback period, cost.

В. М. Поліщук ORCID 0000-0002-9654-9051.
С. А. Шворов ORCID 0000-0001-7776-9940.
Д. А. Дерев'янко ORCID 0000-0001-8487-2153.
Т. С. Давиденко ORCID 0000-0003-0277-6892.