

С. Й. Ткаченко<sup>1</sup>  
Д. В. Степанов<sup>1</sup>  
Н. Д. Степанова<sup>1</sup>  
О. В. Власенко<sup>1</sup>

## ПОТЕНЦІАЛ БІОГАЗОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НА ВІННИЧЧИНІ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*Проаналізовані методи отримання енергії з біомаси. Зазначено, що біогазові технології невдовзі стануть обов'язковим елементом тваринницьких, агропереробних, харчових та інших підприємств. Встановлено, що заміна викопного палива на поновлювальні джерела енергії має економічні, екологічні та соціальні переваги. Проаналізовані складові комплексного ефекту біогазової установки. Проведено аналіз статистичної інформації та оцінено динаміку зміни поголів'я сільськогосподарських тварин у Вінницькій області. Систематизовано групи факторів, які впливають на інтенсивність вироблення біогазу та його якості, а саме біологічні, фізичні, хімічні та організаційно-технологічні. Проаналізовано вплив різних типів сировини, вказано на раціональне їх співвідношення з урахуванням підвищення виходу біогазу, покращення його якості, вказані критерії, за якими слід підбирати сировину для біогазових установок. Увага приділена процесам сумісного зброджування тваринницьких відходів з рослинною сировиною, вказані ефекти збільшення виходу біогазу під час коферментації.*

*Сформульована модель річного потенціалу біогазової технології, на основі якої розроблено річний потенціал Вінниччини. Враховано поголів'я в тваринництві станом на 01.05.2020 року, обсяги виробництва цукру з цукрового буряку та спирту у за 2019 рік. Встановлено потенціал виробництва біогазу з відходів тваринництва, цукрового та спиртового виробництва. Визначено енергетичний ефект біогазової технології, що включає вироблення висококалорійного енергоносія, теплової і електричної енергії при його утилізації. Енергетичний потенціал біогазової технології достатній для покриття потреб в теплоті та електроенергії Вінниччини за основними видами економічної діяльності. Визначено економічно доцільний потенціал за рекомендаціями Біоенергетичної асоціації України.*

*Запропоновані технологічні рішення для підвищення ефективності біогазової установки, а саме повернення в технологічний процес біогазової установки рідкої фази (фракції) в кількості 10...50 % від одержаної з відпрацьованого субстрату, що дає можливість зекономити до 70 % свіжої води за умов стаціонарного з визначеною періодичністю завантаження біореактора.*

*Запропоновано метод визначення комплексного ефекту біогазової технології на основі розрахунку енергетичного ефекту і врахування експертних оцінок щодо співвідношення енергетичного, економічного та еколого-соціального ефектів. Вказано, що такий метод оцінювання комплексного ефекту дозволяє зробити висновок про доцільність проведення детальшого техніко-економічного аналізу майбутньої біогазової установки за конкретних умов.*

**Ключові слова:** біогазова технологія, енергетичний потенціал, еколого-соціальний ефект, енергетичний ефект, економічний ефект, метаногенез, спільне зброджування.

### Вступ

Існують різні методи отримання енергії з біомаси, зокрема з використанням біопалив різних поколінь. Біогаз — газ, який одержують водневим або метановим зброджуванням біомаси. В біогазовій установці використовується технологія відновлювальної енергетики, пов'язана з отриманням біопалив першого покоління. Їх перевага — можливість корисної утилізації органічних відходів тваринництва, рослинництва, твердих побутових відходів, стічних вод з позитивним енергетичним, екологічним та економічним ефектом.

Тверда біомаса – біопаливо першого покоління, що може бути утилізована в шарових топках парових та водогрійних котлоагрегатів з виробництвом теплової енергії. Також із твердої біомаси можна отримати висококалорійний газ шляхом газогенерації чи піролізу, або рідке паливо шляхом піролізу. Після очищення цей газ та рідке паливо можуть бути використані в двигунах внутріш-

нього згорання. Біомаса рослинних культур може бути перероблена в біодизель та біоетанол, що використовуються як екологічно чисте моторне паливо для транспорту.

Біогаз може бути безпосередньо спалений в теплогенераторах та когенераційних і тригенераційних установках. Після збагачення біогазу до біометану цей енергоносіє може бути відпущений в мережу газопостачання або використаний як моторне паливо для транспорту.

В [1] розглянуто потенціал використання біогазу в Україні, а також оцінка впливу біогазових проєктів на навколишнє середовище. Автори дійшли висновку, що в довгостроковій перспективі необхідно ввести обов'язкове використання біогазу агропромисловими компаніями, діяльність яких пов'язана з утворенням відходів.

Біостанції розв'язують проблему очистки і утилізації відходів, які часто складають суттєву частину витрат підприємства. Завдяки біогазовій установці (БГУ) на фермі немає потреби в гнойових відстійниках. Витрати на будівництво гнойових відстійників — це нераціональне використання коштів, а вкладення в БГУ зекономлять їх. БГУ запобіжить викидам метану в атмосферу, попередить попадання забрудненої органічними і неорганічними речовинами рідини в ґрунт. Позитивну екологічну функцію виконують і біодобрива з БГУ, вони заощадають обсяги застосування хімічних аналогів.

Найбільш комплексно питання широкого використання біогазу розглянуто Науково-технічним центром «Біомаса» та Біоенергетичною асоціацією.

*Мета роботи* — визначення потенціалу біогазової технології на Вінниччині за умов реалізації її комплексного ефекту.

### Результати досліджень

Біогазову технологію потрібно розробляти таким чином, щоб отримати потрібний, тобто комплексний ефект, на певному рівні (рис. 1). Тому в статті розглянуті важливі проблеми, від вирішення яких залежить комплексний ефект біогазової технології: одержання раціональної кількості та якості біогазу і добрив, а також рентабельної реалізації вказаних продуктів, захист навколишнього середовища.

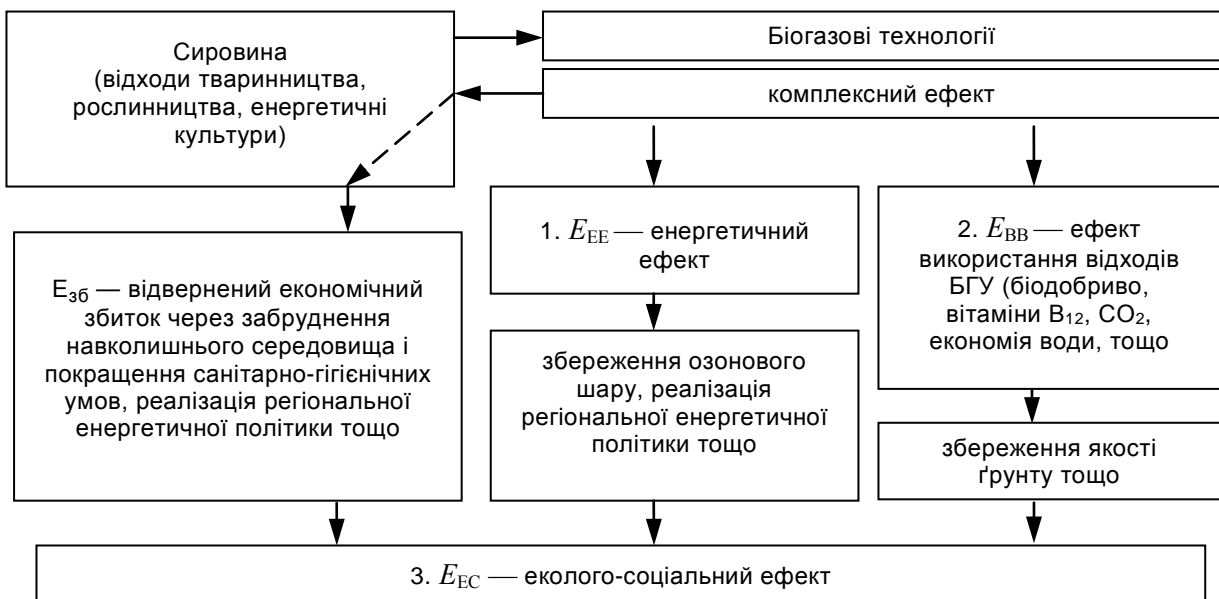


Рис. 1. Складові комплексного ефекту біогазової технології

Еколого-соціальний ефект полягає: в посиленні енергетичної безпеки країни; у створенні нових робочих місць; в економічному розвитку регіонів; у зменшенні пікових навантажень в електромережі; в утилізації відходів тваринництва, рослинництва, а також деяких відходів харчової промисловості. Біогаз має важливе значення з точки зору сталого розвитку, оскільки мінімізує негативний вплив на довкілля; належне управління відходами у поєднанні з виробництвом енергії дає хороші результати з точки зору скорочення викидів парникових газів та вироблення енергії, навіть, для мікробіогазових установок [2].

Якщо взяти за основу еколого-соціальний ефект, врахувати енергетичний ефект (заміщення виходного палива і, як наслідок, зменшення шкідливої дії на озоновий шар — зменшення  $\text{CO}_2$  - еквівалент з виплатою за Кіотською угодою), ефект через заміщення штучного мінерального добрива біодобривом, то вірогідно виникає попередній висновок про подальше детальніше обґрунтування доцільності спорудження БГУ.

Процес прийняття рішення про створення установки, зрозуміло, треба починати з аналізу наявної сировинної бази, необхідної для її безперебійної високоєфективної роботи, з розробки еколого-логістичних задач транспортування відходів тваринництва, птахівництва, енергетичних рослин, відходів рослинництва, зі схеми використання вироблених добрив, енергоносіїв. Треба обов'язково встановити можливість реалізації принципу сталого розвитку (екологічної логістики) — відходи одного підприємства є сировиною для другого підприємства.

Сучасні технології дозволяють переробляти в біогаз будь-які види органічної сировини, однак найефективнішим є використання біогазових технологій для перероблення відходів тваринницьких та птахівничих ферм, інших підприємств АПК, оскільки вони характеризуються сталістю потоку в часі й простотою збирання.

Згідно зі статистичними даними [3], [4] складена табл. 1.

Таблиця 1

Кількість сільськогосподарських тварин у Вінницькій області, тис. голів

Вид тварин	Станом на 1 грудня 1998 року	Станом на 1 травня 2020 року
Корів, тис. голів	152,7	126,8
Інша ВРХ, тис. голів	291,9	127,6
Свиней, тис. голів	349,4	237,3
Кіз та овець, тис. гол	26,2	43,8
Птиці, тис. голів	1156,2	36903,1
Потенціальний вихід біогазу, млн $\text{m}^3/\text{рік}$	166	729,2

Збільшення потенціалу за виходом біогазу з відходів тваринництва на 2020 рік порівняно з цим показником 1998 року, як бачимо з таблиці, пов'язане зі значним зростанням (більше, ніж в 30 разів) поголів'я птиці у Вінницькій області.

Отримані дані щодо збільшення потенціалу біоконверсії і щодо підвищення його економічної привабливості підтверджуються активізацією будівництва біогазових комплексів на птахокомбінатах Вінниччини.

На ефективність метаногенезу впливає низка факторів (рис. 2)

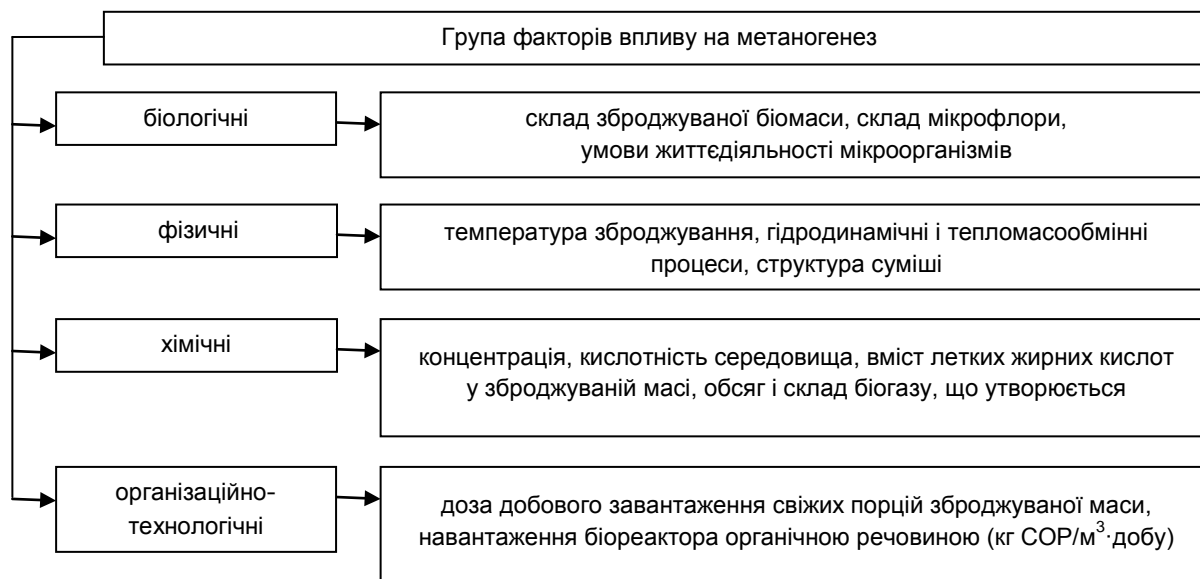


Рис. 2. Групи факторів впливу на інтенсивність процесу зброджування, вихід та склад біогазу і відпрацьованого субстрату

Сучасний тип годування та утримання тварин суттєво відрізняється від того, що використовувалося на початку 90-х років минулого сторіччя, а це позначається на компонентному складі гнойових стоків, на їх фізичних властивостях. Тому неправомірно використовувати результати досліджень, проведених на подібних субстратах в інших регіонах планети. Спільне зброджування гною ВРХ з рослинними рештками, зокрема, зеленою травою, яблучними вижимками, овочевими відходами підвищує ефективність розпаду органічної речовини і питомий вихід біогазу та метану в порівнянні з монозброджуванням гною. Багато установок для своєї роботи використовують силос трав, кукурудзи, люпину, залишків зерна в суміші з рідким або твердим гноєм, який в чистому вигляді зазвичай використовується рідко. Вихід біогазу при цьому доводить ефективність змішування різних видів сировини перед її ферментацією. В Німеччині, наприклад, 8,3 % орних земель використовуються для отримання кукурудзи на силос для подальшої переробки її в біогазових установках [2], [5], [6].

Авторами [7] проведено дослідження впливу додавання рослинних решток у стічні води. Виявлено, що за умови додавання залишків силосу, вихід біогазу збільшується в 2,7 рази, а при додаванні лушпиння соняшника зменшується на 7 %. Зафіксовано також покращення мікробіологічних властивостей та респіраторної активності ґрунту при внесенні збродженої суміші стічних вод та рослинних залишків. Авторами [8] проведено дослідження процесів коферментації відходів тваринництва та рослинництва. Виявлено, що додавання відходів кукурудзи, буряку, пшениці, трави до гною тварин дозволяє збільшити вихід метану з об'єму реактора на 17,6...35,2 % у порівнянні зі зброджуванням гною тварин.

Особливо необхідна для утворення ензимів, які прискорюють процес зброджування в БГУ, присутність в сировині органічних та мінеральних живильних речовин, таких як азот, вуглець, сірка, фосфор, калій, кальцій, магній і деяка кількість мікроелементів: заліза, марганцю, молібдену, цинку, кобальту, селену, вольфраму, нікелю тощо [9], [10]. Всі ці речовини в необхідній кількості містяться в рідкому та твердому гної. Достатня їх кількість міститься також в сіні, кукурудзенні, харчових відходах, у нутрошах тварин, барді, молочних продуктах, які можуть зброджуватись без додавання інших видів сировини.

Вміст метану в біогазі визначається, в першу чергу, складом сировини. Максимальну його кількість одержують з протеїну — 71 %, жирів — 68 %, а з вуглеводнів — лише 50 % [10]. Тому перевагу віддають сумішам сировини з високим вмістом протеїнів (відходи зерна, буряк, картопля, тощо) та жирів. Ефективність БГУ визначається підбором компонентів за однорідністю і ступенем попереднього їх подрібнення. Останнє впливає на кількість виробленого газу через термін зброджування.

Великий потенціал відходів рослинництва, очищення і переробки зернової сировини залишається наразі незатребуваним. Це солома зернових, бурякове і картопляне бадилля, рапсова солома тощо. Отримані в БГУ добрива мають кращі показники, ніж добрива, отримані шляхом компостування, використання вермикультур, біодектрукторів, біоферментації, спалювання, газифікації тощо.

Ефективне використання біогазу вимагає системного аналізу теплотехнологічної системи підприємства, самої біогазової установки та економічно-правових умов господарської діяльності.

Співробітники кафедри теплоенергетики ВНТУ активно займаються проблемою групи фізичних факторів — теплообмінними й гідродинамічними процесами в складних середовищах, схильних до зміни реологічної структури [11], [12]. Наприклад, цими дослідженнями встановлено, що повернення в технологічний процес біогазової установки рідкої фази (фракції) в кількості 10...50 % від одержаної з відпрацьованого субстрату економить до 70 % свіжої води за умов стаціонарного з визначеною періодичністю завантаження біореактора [13]. Аналітичне виявлення рівня впливу цих факторів на співвідношення між трьома названими вище ефектами реалізувати досить складно; тому для цього використовують, в основному, експертні методи. Соціально-екологічний ефект коливається згідно з різними джерелами інформації в межах 0...65 % [14], [15], якщо суму всіх трьох ефектів взяти за 100 %.

Згідно з системним підходом, на погляд авторів, для прийняття принципових рішень, пов'язаних з будівництвом БГУ, доцільно проводити аналіз проблеми декількома альтернативними методами. Наприклад, проводити традиційний техніко-економічний аналіз, термoeкономічний і, запропонований авторами, ексергетичний [16].

Через різноманіття складу субстрату не можна привести допустимі (прийнятні) для всіх умов дані про максимально можливий вихід газу [10]. Щоб визначити вихід біогазу з конкретної сировини, треба провести лабораторні дослідження. Застосування ензимів, бустерів для штучної деградації сировини та інших застосувань дозволяють збільшити вихід біогазу до 95 % від теоретичного (фізично можливого) виходу газу.

Загальновідомо, що в БГУ піддається розкладанню тільки органічна суха речовина, складові субстрату — вода і неорганічні включення (пісок, зола тощо) виходять з реактора в незміненому вигляді. В біогаз, воду і мінеральні солі перетворюються звичайно 40...60% органічної сировини, глибина розкладання рідко перевищує 80%, вміст органічної сухої речовини, зазвичай, складає не більше 10%. Тому у разі додавання свіжого субстрату в БГУ, з нього видаляється майже стільки ж шламу (перебродженого субстрату), скільки залилось субстрату.

На основі статистичних даних (табл. 1) виконано оцінювання потенціалу біогазової технології Вінниччини (табл. 2).

Таблиця 2

**Потенційна ресурсна база та економічні показники використання процесу анаеробної переробки органічних відходів у Вінницькій області \***

Величина	Свині	Корови	Інша ВРХ	Птиця	Вівці, кози	Цукрові заводи	Спиртові заводи	Разом
1. Поголів'я в Вінницькій області на 1 травня 2020 року, тис. голів	237,3	126,8	127,6	36 903,1	43,8	—	—	—
2. Річна кількість відходів, млн т/рік	1,30	2,31	1,63	5,39	0,16	2,041	0,13	<b>12,96</b>
3. Річний вихід біогазу, млн м <sup>3</sup>	30,50	31,04	27,33	463,77	2,68	342,89	41,00	<b>939,2</b>
4. Економічно доцільний потенціал**, млн м <sup>3</sup>	9,15	30,11	26,51	315,36	1,45	157,73	5,33	<b>545,64</b>
5. Річна електроенергія, млн кВт·год	62,27	63,37	55,80	1 037,04	5,99	766,74	91,68	<b>2082,9</b>
6. Річна теплова енергія, тис. ГДж	352,2	358,5	315,7	5 866,7	33,9	4337,5	518,7	<b>11783</b>

*Примітки:* \* — кількість тварин взята з статистичних даних станом на 01.05.2020 року, а кількість відходів цукрово- та спиртового виробництва за статистичною інформацією за 2019 рік;

\*\* — частка економічно доцільного потенціалу взята за рекомендаціями [17], причому потенціал для відходів корів та іншої ВРХ розрахований за часткою для ферм ВРХ, а потенціал для відходів овець та кіз розрахований за середньою часткою 0,54.

Згідно з [17], відходи тваринництва забезпечують 1/3 потенціалу біогазової технології, а 2/3 потенціалу біогазової технології може бути забезпечено за рахунок відходів рослинництва та енергетичних рослин.

З табл. 2 випливає, що річна анаеробна переробка відходів тваринництва та підприємств цукрової та спиртової промисловості Вінницької області дозволить зекономити 0,939 млрд м<sup>3</sup> природного газу або 0,498 млн т нафтового еквівалента. Енергетичний потенціал біогазової технології достатній для покриття енергопотреб Вінниччини за основними видами економічної діяльності. Крім того, заміщення викопних палив біогазом у виробництві електроенергії зменшує викиди парникових газів в атмосферу на 1,82...3,02 млн т CO<sub>2</sub>-екв.

Визначено економічно доцільний потенціал біогазової технології на Вінниччині, який складає 545,64 млн м<sup>3</sup>, або 58% від потенціального річного виходу біогазу.

Визначивши лише один енергетичний ефект біогазової технології [14], [15] і довівши цю ж технологію до отримання трьох ефектів (енергетичний, добриво, соціально-екологічний) до 60% від комплексного, нескладно переконатись, що в цьому випадку можна зробити попередній висновок про доцільність або не доцільність створення біогазової установки.

### Висновки

Проаналізована тенденція впровадження біогазових технологій в Україні. Підтверджена необхідність заміни викопного палива на поновлювальні джерела енергії.

Акцентована увага на факторах, які впливають на процес одержання біогазу з різних типів сировини, раціональне їх співвідношення з урахуванням підвищення виходу біогазу, покращення його якості, критерії, за якими слід підбирати сировину для біогазових установок.

Сформульована модель річного потенціалу біогазової технології, на основі якого розроблено річний потенціал Вінниччини, причому кількість тварин взята зі статистичних даних станом на

01.05.2020 року, а кількість відходів цукрового та спиртового виробництва за статистичною інформацією за 2019 рік. Отримане значення енергетичного потенціалу складає 0,939 млрд м<sup>3</sup>, чого достатньо для покриття потреб в тепловій та електричній енергії Вінниччини за основними видами економічної діяльності. Частка економічно доцільного потенціалу взята за рекомендаціями Біоенергетичної асоціації України, і склала для Вінниччини 0,58.

Повернення в технологічний процес біогазової установки рідкої фази (фракції) в кількості 10...50% від одержаної з відпрацьованого субстрату надає змогу зекономити до 70% свіжої води за умов стаціонарного з визначеною періодичністю завантаження біореактора.

Розрахувавши енергетичний ефект (вихід біогазу) і прийнявши його частку експертним методом в комплексному ефекті БГУ, оцінюється комплексний ефект БГУ в цілому. Після цього можна робити висновок про доцільність або не доцільність проведення детального техніко-економічного аналізу майбутньої біогазової установки за конкретних умов.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Г. С. Трипольская, та ін., «Біогазові проекти в Україні: перспективи, наслідки та регуляторна політика», *Економіка прогнозування*, № 2, с. 111-134, 2018.
- [2] Г. Г. Гелетуха, *Перспективи біогазу в Україні*. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/rus/columns/2013/07/3/383399/>.
- [3] «Тваринництво України 2017», *Статистичний збірник*. Київ, Україна: Державна служба статистики, 2018, 165 с.
- [4] Головне управління статистики у Вінницькій області, *Кількість сільськогосподарських тварин у 2020 році*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.vn.ukrstat.gov.ua/index.php/statistical-information/6595-killist-sg-tvaryn.html>.
- [5] А. С. Добышев, і А. А. Острейко, «Подбор и подготовка животноводческого сырья для биогазовых установок», *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*, сб. научн. тр. Горки: БГХСА, вып. 16. с. 394-401, 2013.
- [6] Г. В. Бінковська, і Т. П. Шаніна, «Відходи рослинництва у сільському господарстві Одеської області: перспективи для виробництва біогазу», *Український гідрометеорологічний журнал*, № 16, с. 107-111, 2015.
- [7] П. Ю. Галицька, П. А. Зверева, і С. Ю. Селивановская, «Совместная утилизация отходов различных производств с получением полезных продуктов и биогаза», *Ученые записки Казанского университета*, т. 153, кн. 1, с. 152-160.
- [8] D. M. F. Lima, "Anaerobic Modeling for Improving Synergy and Robustness of a Manure Co-Digestion Process // *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, no. 4, pp. 871-883, 2016.
- [9] П. П. Кучерук, Ю. Б. Матвеев, і Т. В. Ходаківська, «Дослідження ефективності метаногенезу при анаеробному збродженні гною ВРХ з рослинними рештками», *Відновлювальна енергетика*, 20, № 1, с. 83-89, 2010.
- [10] Б. Баадер, Е. Доне, і М. Брендерфер, *Биогаз: Теория и практика*. Москва: Колос, 1982, 148 с.
- [11] С. Й. Ткаченко, і Н. В. Пішеніна, *Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів*: моногр. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2017, 147 с.
- [12] С. Й. Ткаченко, Н. Д. Степанова, Н. В. Резидент, Д. І. Денесяк, і К. О. Іщенко, «Однопрохідний біореактор біогазової установки», *Патент 125227 UA, МПК C02F 11/04, № а 2017 12221*; заявл. 11.12.2017; опубл. 10.05.2018, Бюл. № 9.
- [13] С. Й. Ткаченко, К. О. Іщенко, «Економія води в технологічних процесах біогазової установки», *Scientific Works*, т. 81, № 2, с. 125-130.
- [14] В. Г. Некрасов, «Перспективы использования биогаза», *Техника в сельском хозяйстве*, № 4, с. 25, 1988.
- [15] В. В. Гимпель, «Экологическая эффективность внедрения биогазовых установок в Украине», *Экология плюс*, № 4, с. 23-29, 2015.
- [16] С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, і Н. Д. Степанова, «Аналіз соціальної та енерго- і природозбережної ефективності реалізації біогазової технології», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 2, с. 34-41, 2020.
- [17] Г. Г. Гелетуха, П. П. Кучерук, і Ю. Б. Матвеев, *Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні. Аналітична записка БАУ № 4*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-4-ua.pdf>.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 3.11.2020

**Ткаченко Станіслав Йосипович** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри теплоенергетики, e-mail: stahit6937@gmail.com ;

**Степанов Дмитро Вікторович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, e-mail: Stepanovdv@ukr.net ;

**Степанова Наталія Дмитрівна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, e-mail: Stepanovand@i.ua ;

**Власенко Ольга Володимирівна** — аспірантка кафедри теплоенергетики.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**S. Yo. Tkachenko<sup>1</sup>**  
**D. V. Stepanov<sup>1</sup>**  
**N. D. Stepanova<sup>1</sup>**  
**O. V. Vlasenko<sup>1</sup>**

## Potential of Biogas Technology in Vinnytsia Region

<sup>1</sup>Vinnytsia National Technical University

*Methods of obtaining energy from biomass are analyzed. It is stated that biogas technologies will soon become a mandatory element of livestock, agro-processing, food and other enterprises. It has been established that the replacement of fossil fuels with renewable energy sources has economic, environmental and social benefits.*

*The components of the complex effect of the biogas plant are analyzed. The analysis of statistical information is carried out and the dynamics of change of livestock in Vinnytsia region is estimated. Groups of factors influencing the intensity of biogas production and its quality are systematized, namely biological, physical, chemical and organizational-technological.*

*The influence of different types of raw materials is analyzed, their rational ratio is indicated taking into account the increase of biogas yield, improvement of its quality, the criteria according to which raw materials for biogas plants should be selected are indicated. Attention is paid to the processes of joint fermentation of livestock waste with vegetable raw materials; the effects of increasing the yield of biogas during cofermentation are given.*

*The model of annual potential of biogas technology is formulated, on the basis of which the annual potential of Vinnytsia region is developed. The livestock as of 01.05.2020, the volumes of sugar production from sugar beet and alcohol in 2019 are taken into account. The potential of biogas production from livestock waste, sugar and alcohol production has been established.*

*The energy effect of biogas technology, which includes the production of high-calorie energy, heat and electricity during its utilization, is determined. The energy potential of biogas technology is sufficient to cover the heat and electricity needs of Vinnytsia region for the main types of economic activity. The economically feasible potential has been determined according to the recommendations of the Bioenergy Association of Ukraine.*

*Technological solutions to increase the efficiency of the biogas plant are proposed, namely the return to the technological process of the biogas plant liquid phase (fraction) in the amount of 10... 50 % of the obtained from the spent substrate, which saves up to 70 % of fresh water at stationary loading intervals bioreactor.*

*A method for determining the complex effect of biogas technology based on the calculation of the energy effect and taking into account expert assessments of the ratio of energy, economic and environmental and social effects is proposed. It is indicated that this method of estimating the complex effect allows drawing a conclusion about the expediency of conducting a detailed technical and economic analysis of the future biogas plant under specific conditions.*

**Keywords:** biogas technology, energy potential, ecological and social effect, energy effect, economic effect, methanogenesis, cofermentation.

**Tkachenko Stanislav Yo.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Heat Power Engineering, e-mail: stahit6937@gmail.com ;

**Stepanov Dmytro V.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Heat and Power Engineering, e-mail: Stepanovdv@ukr.net ;

**Stepanova Natalia D.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Heat and Power Engineering, e-mail: Stepanovand@i.ua ;

**Vlasenko Olha V.** — Post-Graduate Student of the Chair of Heat Power Engineering

**С. И. Ткаченко<sup>1</sup>**  
**Д. В. Степанов<sup>1</sup>**  
**Н. Д. Степанова<sup>1</sup>**  
**О. В. Власенко<sup>1</sup>**

## Потенциал биогазовой технологии на Винниччине

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет

*Проанализированы методы получения энергии из биомассы. Указано, что биогазовые технологии вскоре станут обязательным элементом животноводческих, агроперерабатывающих, пищевых и других предприятий. Установлено, что замена ископаемого топлива на возобновляемые источники энергии имеет экономические, экологические и социальные преимущества. Проанализированы составляющие комплексного эффекта биогазовой установки.*

*Проведен анализ статистической информации и оценена динамика изменения поголовья сельскохозяйственных*

животных в Винницкой области. Систематизированы группы факторов, влияющих на интенсивность выработки биогаза и его качество, а именно биологические, физические, химические и организационно-технологические.

Проанализировано влияние различных типов сырья, указано на рациональное их соотношение с учетом повышения выхода биогаза, улучшение его качества, указаны критерии, по которым следует подбирать сырье для биогазовых установок. Внимание уделено процессам совместного сбраживания животноводческих отходов с растительным сырьем, приведены эффекты увеличения выхода биогаза при коферментации.

Сформулирована модель годового потенциала биогазовой технологии, на основе которого разработан годовой потенциал Винницкой области. Учтено поголовье в животноводстве по состоянию на 01.05.2020 года, объемы производства сахара из сахарной свеклы и спирта взяты за 2019 год. Установлен потенциал производства биогаза из отходов животноводства, сахарного и спиртового производства.

Определен энергетический эффект биогазовой технологии, включая выработку высококалорийного энергоносителя, тепловой и электрической энергии при его утилизации. Энергетический потенциал биогазовой технологии достаточен для покрытия потребностей в теплоте и электроэнергии Винницкой области по основным видам экономической деятельности. Определен экономически целесообразный потенциал по рекомендациям Биоэнергетической Ассоциации Украины.

Предложены технологические решения для повышения эффективности биогазовой установки, а именно возвращение в технологический процесс биогазовой установки жидкой фазы (фракции) в количестве 10 ... 50 % от полученной из отработанного субстрата, что позволяет сэкономить до 70 % свежей воды в условиях стационарного с определенной периодичностью загрузки биореактора.

Предложен метод определения комплексного эффекта биогазовой технологии на основе расчета энергетического эффекта и учета экспертных оценок соотношения энергетического, экономического и эколого-социального эффектов. Указано, что такой метод оценки комплексного эффекта позволяет сделать вывод о целесообразности проведения детального технико-экономического анализа будущей биогазовой установки в конкретных условиях.

**Ключевые слова:** биогазовая технология, энергетический потенциал, эколого-социальный эффект, энергетический эффект, экономический эффект, метаногенез, совместное сбраживание.

**Ткаченко Станислав Иосифович** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой теплоэнергетики, e-mail: stahit6937@gmail.com ;

**Степанов Дмитрий Викторович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики, e-mail: Stepanovdv@ukr.net ;

**Степанова Наталия Дмитриевна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики, e-mail: Stepanovand@i.ua ;

**Власенко Ольга Владимировна** — аспирант кафедры теплоэнергетики