

УДК 621.313.322: 316.1

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОГЕНЕРАТОРА В АПК УКРАЇНИ**

*Матвійчук Віктор Андрійович, д.т.н., професор*  
*Собчук Наталія Валеріївна, к.т.н., доцент*  
*Рубаненко Олена Олександрівна, к.т.н., доцент*  
*Вінницький національний аграрний університет*  
*Слободянюк Олена Валеріївна, к.пед.н., доцент*  
*Вінницький національний технічний університет*

*Matvijchuk V.**Sobchuk N.**Rubanenko O.**Vinnytsia National Agrarian University**Slobodyanuk O.**Vinnytsia National Technical University*

**Анотація:** проаналізовано роль відновлюваних джерел енергії у виробництві енергії, досліджено актуальне питання збільшення частки відновних джерел в енергобалансі кожної окремої країни. У роботі було представлено огляд переваг та можливостей виробництва та використання біогазу саме з гною та посліду. Одним із основних моментів щодо виробництва біогазу з відходів тваринництва є можливість вирішити екологічні проблеми поводження з відходами та отримати економічні переваги. В статті досліджена технологічна схема отримання біогазу із відходів аграрних комплексів. Поетапно досліджено об'єм рідкої біомаси для контрольованого зброджування в анаеробних умовах. Досліджено річне виробництво електроенергії двигун-електрогенераторною установкою при використанні біогазу. Досліджено витрати електроенергії на власні потреби і для зовнішніх споживачів.

**Ключові слова:** відновлювані джерела енергії, біогазогенератор, електричний генератор, поршневий двигун на біогазі.

**Актуальність і мета**

За даними інформаційного агентства УНІАН за підсумками поточного року очікується введення в експлуатацію рекордних для нашої країни 500-600 МВт потужностей, отриманих від відновлюваних джерел енергії. В Україні з січня по вересень 2017 року було введено 201,9 МВт нових потужностей відновлюваної енергетики, що майже в чотири рази більше, ніж за аналогічний період минулого року. Таким чином, загальна встановлена потужність, що генерується за рахунок відновлюваної енергетики з початку цього року в нашій країні виросла на 18% і становить тепер 1320 МВт. При цьому частка відновлюваної енергетики в загальному балансі поки займає – 1,6%. Це стало можливо за рахунок того що, в Україні діє один з найвищих «зелених» тарифів в Європі, який також значно вище, ніж для інших видів вітчизняної генерації: до 17 євроцентів за 1 кВт·год, або близько 5,3 грн. за 1 кВт·год [1].

В статті авторів З.Г. Гамкало, Л.М. Максишко підкреслюється важливість біотехноенергетики, як одного із перспективних шляхів вирішення питань альтернативного енергозабезпечення та оздоровлення навколишнього середовища в зоні діяльності тваринницьких об'єктів є застосування мікробної конверсії відходів тваринництва в аеробних і анаеробних режимах і, особливо, утилізації гнойових відходів шляхом метанізації [2]. Процес метанізації одночасно вирішує три завдання: отримання енергетичного носія – метану за допомогою відновлюваних джерел енергії, високоефективного органічного добрива (органічного шламу або еффлюента) і поліпшення екологічної ситуації в зоні тваринницького об'єкта та прилеглих територій [3]. Світовий досвід показує, що такий технологічний підхід досить популярний в 65 країнах, де тільки в Євросоюзі функціонують більш 13800 установок з виробництва біогазу. Зокрема, в Данії експлуатується 18 біогазових заводів, які продукують 45 млн. м<sup>3</sup> біогазу (0,3% від потреб України в імпортованому природному газі). Особливу увагу біогазовим установкам приділяють в Німеччині, де за останні двадцять років їх кількість збільшилася майже в 40 разів і досягло 7200. Німеччина є також лідером і по створенню надпотужних установок [4].



Активний розвиток ринку сучасних біогазових технологій і обладнання в Україні відбувається протягом останніх 10 років. На вітчизняному ринку сьогодні представлені як провідні компанії, так і маловідомі підприємства, які тільки почали розвивати цей напрямок відновлюваної біотехноенергетики. З них, найбільш відомими, які здійснюють діяльність в сегменті біогазових технологій є ТОВ «Зорг Україна», ТОВ «ЕКОТЕНК», Huo Long Biogas Ltd, а також ТОВ «Теплосоюз Україна», ЗАТ «НВП Інтеренерго» і ряд інших компаній [5].

У постачанні первинної енергії на частку відновлюваної енергетики припадає 13% у світовому масштабі. З них на біомасу припадає 10%, тобто у світі біомаса забезпечує найбільшу частку постачання енергії з відновлюваних джерел. В Україні частка біомаси в первинному енергопостачанні становить лише 1,4% [6-8].

Україна має незадіяний потенціал розвитку відновлюваних джерел енергії – виробництво біогазу з відходів тваринництва. Одним із основних моментів щодо виробництва біогазу з відходів тваринництва є можливість вирішити екологічні проблеми поводження з відходами та отримати економічні переваги. Гній та послід є побічними продуктами тваринництва, та якщо вони утворюються у великій кількості, то можуть бути небезпечними для довкілля. Відходи тваринництва є основним джерелом нітратного забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод [6].

На сучасному етапі розвитку електрифікації агропромислового комплексу України одним із ефективних рішень підвищення надійності електропостачання споживачам є розміщення установок генерації поблизу центрів навантаження [9]. Тому метою даної статті є дослідження ефективності біогазогенератора і двигун-генератора, що не тільки дасть змогу забезпечити підприємство АПК надійним електропостачанням якісною електроенергією, а й буде додатковим джерелом прибутку [10]. Біогаз – газ, що отримується в результаті мікробного розкладання біомаси. Він складається в основному з метану (55-70%) і діоксиду вуглецю (45-30%), але також містить деякі включення, які виділяються в біогазовій станції. За своїми властивостями біогаз найбільш близький до природного газу (80-98% метан). Він не має кольору і запаху.

Біогаз може використовуватися для спалювання в котлах та двигунах внутрішнього згоряння без збагачення. Найбільш поширене використання біогазу є вироблення електричної енергії.

Біогаз також можна очищати від  $\text{CO}_2$  і доводити до властивостей природного газу. Такий збагачений біогаз називається біометаном. Найчастіше очищення проводиться за допомогою води. Після очищення газ не відрізняється як за складом так і за властивостями від природного газу. Основні характеристики біогазу наведені в таблиці 1 [11].

Таблиця 1

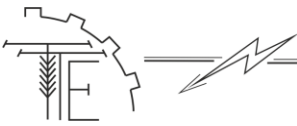
Основні характеристики біогазу.

Запас енергії в $1 \text{ м}^3$ біогазу	6-6,5 кВт
Теплотворна здатність	4500-6300 ккал / $\text{м}^3$
Щільність біогазу	1,16-1,27 кг / $\text{м}^3$
Температура загоряння	650-750° С
Тиск біогазу в реакторі	0,05 атм
Тиск біогазу перед споживанням	піднімається до питомого

### *Переваги біогазових станцій*

Біогазова станція – це найактивніша система очищення. Будь-які інші системи очищення споживають енергію, а не виробляють. Біогазова станція переробляє відходи в біогаз і біодобрива. Виробництво біогазу дозволяє запобігти викиду метану в атмосферу. Його уловлювання – найкращий спосіб запобігання глобального потепління. Додаткові вигоди біогазової станції: вироблення електрики і тепла, отримання біометану, економія капітальних витрат на очисні при будівництві нових підприємств.

Біогаз – газ, що одержується метановим бродінням біомаси. Мікроорганізми метаболізують вуглець з органічних субстратів у безкисневих умовах (анаеробно). Цей процес, що зветься гниттям або безкисневим бродінням, слідує за ланцюгом харчування. Біогаз – це газ, що складається приблизно з 55% метану ( $\text{CH}_4$ ) і 45% вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ). Синонімами для біогазу є такі слова, як каналізаційний газ, шахтний газ і болотний газ, газ-метан. Калорійність біогазу від 4500 до 7500 ккал/ $\text{м}^3$ .



Цінність біодобрив визначається вмістом активної речовини NPK, а також «біо» – складовою. На виході з біогазової станції в біомасі зберігаються всі активні речовини, але перебувають вони у вільній формі. Біоскладова містить гумінові кислоти і макроелементи. При використанні біодобрив врожайність підвищується на 30-50%.

### ***Мокрий спосіб***

«Мокрий» спосіб переробки органічних відходів та відновлюваної сировини в біогаз набув найбільшого поширення. Він відмінно підходить для сировини з високим вмістом вологи. При «мокрому» способі сировина розбавляється до вологості 90% і перекачується в реактори насосами. Реактори герметично закриті і працюють без доступу кисню. У процесі безперервної роботи свіжа сировина подається порціями з попереднього резервуара в нижню частину реактора. Порціями ж відводиться переброділа маса. В утепленому попередньому резервуарі і реакторі відбувається підігрів біомаси і перемішування. Матеріал усіх ємностей і реакторів є сталь з покриттям або залізобетон. У реакторі підтримується найбільш сприятлива мезофільна температура для бактерій 37-40° С. Перемішування відбувається періодично. Періодичні зупинки необхідні для того щоб маса встигла розшаруватись і з переброділою масою не відбувся злив свіжої сировини.

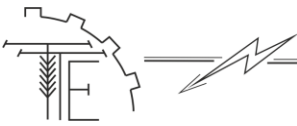
В реакторі працюють кілька видів бактерій (гідроліз, кислотоутворення, метаноутворення). Мікроорганізми, що виконують роботу по бродінню відходів, вводяться в реактор один раз при першому запуску. На виході два продукти: біогаз і біодобрива. Отриманий у процесі бродіння біогаз для видалення сірки проходить через біофільтр і надходить у газгольдер низького тиску, який одночасно є куполом реактора. З газгольдера біогаз надходить на осушку і компримування. Біогаз майже повний аналог природного газу далі надходить до споживачів – котел або теплоелектростанцію. Переброджена маса являє собою біодобрива. Відпрацьована маса (біодобриво) віддаляється через верхню частину реактора через сифон. Відпрацьована маса розділяється на рідку і тверду фракцію. Рідкі біодобрива скупчуються в ємності-сховище. Тверді добрива накопичуються на майданчику під навісом. Усіма процесами керує автоматика при мінімальному контролі оператора. Підігрів біогазового реактора ведеться за рахунок охолодження теплоелектростанції або, якщо її немає в комплекті, за рахунок спалювання частини біогазу. При цьому на свої потреби витрачається менше 10% виробленої енергії. Біогазові станції проектуються з урахуванням кліматичних умов. Попередні резервуари і реактори мають утеплювач. Якщо дозволяє рівень ґрунтових вод, то ємності заглиблюються максимально у землю. У суворому холодному кліматі усі агрегати максимально знаходяться всередині. Матеріал газгольдерів морозостійкий. Біогазова станція забезпечується системами безпеки-факелами для спалювання надлишків біогазу, системою блискавкозахисту.

### ***Сухий спосіб***

Ще недавно біогазові технології були зосереджені на «мокрій ферментації». Новітня система сухої ферментації дозволяє виробляти біогаз із твердих відходів що забруднені неорганічними включеннями. При цьому не потрібно розбавлення субстрату до стану прокачування. Сухий спосіб ферментації дозволяє зброджувати субстрати з 50% вологістю. Відходи завантажуються в ферментатор і зброджуються без доступу кисню. Постійна подача бактеріальної сировини відбувається за допомогою рециркуляції переброділого рідкого фільтрату, що розпилюється над органічними відходами в реакторі. В процесі не відбувається перемішування, перекачування або перегортання субстрату. Також свіжа сировина не подається. Надлишки фільтрату збираються через дренажну систему в ємність, а потім розпорошуються над біомасою в реакторі. Збродження відбувається в сприятливому мезофільному режимі в діапазоні або у термофільному. Стіни і підлога реактора підігріваються.

Суша ферментація – це одностадійний циклічний метод збродження. Етапи розкладання (гідроліз, кислотоутворення, метаноутворення) відбуваються в одному і тому ж боксі. Циклічність процесу передбачає, що під час ферментації свіжа сировина не додається і не видаляється переброджена біомаса, а субстрат бродить до кінця циклу збродження. Реакторами являються газонепроникні бетонні камери типу "гараж", в які за допомогою фронтального завантажувача подається сировина. Кілька реакторів будуються поруч і працюють одночасно в синхронізованому режимі для забезпечення безперебійного виробництва біогазу. Температура в ізолюваному ферментаторі регулюється підігріваються підлогою і стінами. Опалювальні трубки монтуються в стіни і підлогу ферментатора вчасно будівництва, тому в ферментаторі немає ніяких виступаючих елементів. Перколяційний фільтрат додатково підігрівається теплообмінниками.

Ферментатори укомплектовані газонепроникним сталевими дверима шлюзового типу, які управляються гідравлікою. Система герметизації дверей наповнюється повітрям, як тільки двері



зачиняються, таким чином, закриваючи усі можливі отвори. Перед відкриттям дверей повітря з системи герметизації випускається. Потім двері відкриваються знизу вгору, що дозволяє уникнути будь яких сутичок з завантажувачем сировини. Надувна система герметизації вбудована в краї дверей, що також унеможливило її пошкодження. Система герметизації працює при невеликому надлишковому тиску 20 кПа, що абсолютно запобігає можливість вибуху газової суміші навіть у разі витоку. Перевагою сухого методу ферментації є відсутність перемішуючих механізмів. Немає необхідності в насосному і перемішуючому обладнанні. Використовуваний субстрат не потребує підготовки. Власне споживання енергії мінімальне.

Ефективність установки біогазогенератора і двигун-генераторної установки розглянемо на прикладі свиноферми на 1000 голів.

- вміст сухого матеріалу в навозі тварини 0,2 кг/добу;
- тривалість циклу бродіння 14 діб;
- теплотворна здатність сухого навозу 12 МДж/кг;
- теплотворна здатність біогазу  $C_B = 20$  МДж/м<sup>3</sup>;
- при повному зброджуванні за 14 діб повний вихід біогазу 0,5 м<sup>3</sup>/кг сухого навозу.

Об'єм рідкої маси, яка проходить біогазогенератор щодоби складає:

$$V_j = \frac{m}{\rho} = 4(\text{м}^3), \quad (1)$$

де  $m$  – маса сухого навозу за добу;

$\rho = 50$  кг/м<sup>3</sup> – вміст сухого навозу.

Розрахунковий об'єм біогазогенератора:

$$V_G = V_j \cdot t = 56(\text{м}^3), \quad (2)$$

де  $t$  – тривалість циклу бродіння.

Об'єм біогазу, який виробляється за добу:

$$V_{B1} = m \cdot t \cdot 0,5 = 1400(\text{м}^3). \quad (3)$$

Об'єм біогазу, який виробляється за рік:

$$V_{B\Sigma} = V_{B1} \cdot 365 = 1400 \cdot 365 = 511000(\text{м}^3). \quad (4)$$

Використання річного об'єму біогазу для вироблення електроенергії установленою «поршневий двигун – електричний генератор» з ККД=30% :

$$W_e = V_{B\Sigma} \cdot C_B \cdot \eta = 51000 \cdot 20 \cdot 0,3 = 851660(\text{кВт} \cdot \text{год}).$$

Номінальна потужність двигун-генератора, кВт:

$$P_H = K_3 \frac{W_e}{365 \cdot 24} = 97(\text{кВт}).$$

Витрати електроенергії (тис. кВт, годин) на підігрівання навозу в біогазогенераторі в холодну пору року  $365/2 = 182,5$  діб в середньому від 5° С до 20° С ,якщо вважати теплоємність навозу 1 ккал/кг\*° С густина навозу 900 кг/м<sup>3</sup>, 1 кВт·год =1 ккал/860:

$$W_1 = m \cdot C \cdot \Delta T = 6375(\text{кВт} \cdot \text{год}).$$

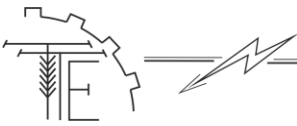
Витрати електроенергії за рік двигунами насосів і розмішувачів біогазогенератора за встановленої потужності 20 кВт і коефіцієнтом використання  $K_B = 0,1$ :

$$W_2 = P_{BCT} \cdot K_B \cdot 8760 = 17520(\text{кВт} \cdot \text{год}).$$

Генерація електроенергії для зовнішніх споживачів ферми:

$$W_\phi = W_e - W_1 - W_2 = 827765(\text{кВт} \cdot \text{год}),$$

де  $W_1, W_2$  – власні потреби.



### Висновки

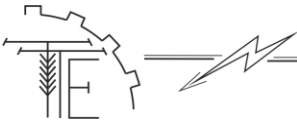
Існує декілька аспектів ефективності біогазогенератора і двигун-електрогенератора. Дослідження їх в Україні є актуальною задачею, оптимальне вирішення якої дасть змогу забезпечити сучасні підприємства АПК якісною електроенергією і добривами в потрібному обсязі. В статті розглянуто технологічний процес і об'єм біогазу із біогазогенератора ємністю 56 м<sup>3</sup>. Для прикладу цей біогаз подається в поршневий двигун внутрішнього згорання, який приєднаний до електричного генератора потужністю 97 кВт. За рік електрогенератор виробляє 851,660МВт·год електроенергії, яка витрачається на власні потреби біогазової станції в об'ємі 23,895 МВт·год, а решту 827,765 МВт·год для споживачів ферми і прилеглого району.

### Список літератури

1. Орел І. Возобновляемая энергетика в Украине / Игорь Орел // Возобновляемая энергетика в Украине: шаг вперед, два шага назад: Электронный ресурс: <https://economics.unian.net/energetics/2178574-vozobnovlyae-maya-energetika-v-ukraine-shag-vpered-dva-shaga-nazad.html>
2. Гамкало З. Биотехноэнергетика в Украине: состояние, проблемы и перспективы переработки отходов сельскохозяйственного производства / З. Г. Гамкало, Л. М. Максико // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА», Механизация и электрификация – 2017. № 79. – С. 152-157.
3. Блюм Я.Б. Новейшие технологии биоэнергоконверсии / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша, И.П. Григорюк и др. – К.: «Аграр Медиа Групп», 2010.–326 с.
4. Калетник Г.М. Биопаливо. Продовольча, енергетична та економічна безпека України: Монографія / Г.М. Калетник – К.: Хай-Тек Прес, 2010. – 516 с.
5. Сидоров Ю.И. Современные биогазовые технологии / Ю.И. Сидоров // *Biotechnologia Acta*. – 2013. –Т. 6. –№ 1. – С. 46-61.
6. Поводження з відходами тваринництва: переваги технології анаеробного зброджування Електронний ресурс: <http://uabio.org/img/files/docs/biogas-necu-report-2015.pdf>
7. IEA. Statistics. Total. 2012: Электронный ресурс: <http://www.iea.org/topics/renewables/>
8. IEA. Statistics. Ukraine. Электронный ресурс: <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=UKRAINE&product=balances&year=2012> (станом на 1.12.2014)
9. Матвійчук В. А. Особливості електропостачання потужних підприємств АПК з використанням нейромереж та розподілених джерел електроенергії / В.А. Матвійчук, О.Є. Рубаненко, О.О. Рубаненко // Збірник наукових праць ВНАУ: Серія технічні науки – 2015. № 2 (90). – С. 117-123.
10. Козирський В.В. Електропостачання агропромислового комплексу / Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 448 с.
11. Четовникова Л.М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Л.М. Четовникова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. – 69 с.

### References

1. Orel I. *Vozobnovlyayemaya ehnergetika v Ukraine* / Igor Orel // *Vozobnovlyayemaya ehnergetika v Ukraine shag vpered dva shaga nazad.*: <https://economics.unian.net/energetics/2178574-vozobnovlyae-maya-energetika-v-ukraine-shag-vpered-dva-shaga-nazad.html>
2. Gamkalo Z. *Biotekhnoehnergetika v Ukraine sostoyanie problemy i perspektivy pererabotki othodov selskohozyajstvennogo proizvodstva* / Z. G. Gamkalo, L. M. Maksishko // *Nauchno-prakticheskij zhurnal Vestnik IrGSKHA Mekhanizatsiya i ehlektrifikatsiya*. – 2017. № 79. – С. 152–157.
3. Blyum YA. B. *Novejshie tekhnologii bioehnergokonversii* / YA. B. Blyum, G. G. Geletuha, I. P. Grigoryuk i dr. K *Agrar Media Grupp*. – 2010. – 326 p.
4. Kaletnik G.M. *Biopaliwo prodovolcha energetichna ta ekonomichna bezpeka Ukraini: Monograf uya* G M Kaletnik KHaj-Tek Pres. – 2010. – 516 p.
5. Sidorov Y.U. *Sovremennye biogazovye tekhnologii* / Y.U. Sidorov *Biotechnologia Acta*. – 2013. – Т. 6. – P. 46. – 61
6. *Povodzhennya z vidhodami tvarinnictva perevagi tekhnolog anaerobnogo zbrodzhuvannya: Elektronnij resurs* <http://uabio.org/img/files/docs/biogas-necu-report-2015.pdf>
7. *IEA Statistics Total 2012. Elektronnij resurs* <http://www.iea.org/topics/renewables/>
8. *IEA Statistics Ukraine Elektronnij resurs* <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=UKRAINE&product=balances&year=2012>
9. *Matvijchuk V.A. Osoblivosti elektropostachannya potuzhnyh pidpriemstv APK z vikoristannjam nejromerezh ta rozpodilennyh dzherel elektroenerгии* // V. A. Matvijchuk, O. E. Rubanenko, O. O. Rubanenko: *Zbirnik naukovih prac VNAU. Ser ya tekhnichni nauki* – 2015. № 2 (90). – P. 117-123.
10. *Kozirskij V.V. Elektropostachannya agropromislovogo kompleksu Kozirskij V.V., Kaplun V.V., Voloshin S. M. Agrarna osvita* – 2011-448 p.
11. *Chetoshnikova L.M. Netradicionnye vozobnovlyaemye istochniki ehnergii uchebnoe posobie* / L. M. CHetoshnikova *CHelyabinsk: I-vo YUUrGU* 2010. – 69 p.



### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОГЕНЕРАТОРА В АПК УКРАИНЫ

**Аннотация:** проанализирована роль возобновляемых источников энергии в производстве энергии, исследовано актуальный вопрос увеличения доли возобновляемых источников в энергобалансе каждой отдельной страны. В работе был представлен обзор преимуществ и возможностей производства и использования биогаза именно из навоза и помета. Одним из основных моментов по производству биогаза из отходов животноводства является возможность решить экологические проблемы обращения с отходами и получить экономические преимущества. В статье исследована технологическая схема получения биогаза из отходов аграрных комплексов. Поэтапно исследованы объем жидкой биомассы для контролируемого сбраживания в анаэробных условиях. Исследовано годовое производство электроэнергии двигатель-электрогенераторной установкой при использовании биогаза. Исследован расход электроэнергии на собственные нужды и для внешних потребителей.

**Ключевые слова:** биогазогенератор, электрический генератор, поршневой двигатель на биогазе.

### EFFICIENCY OF BIOGAZGENERATOR IN AIC OF UKRAINE

**Summary:** the role of renewable energy sources in the production of energy is analyzed, the urgent issue of increasing the share of renewable sources in the energy balance of each individual country is investigated. The paper presented an overview of the advantages and opportunities of production and use of biogas from manure and litter. One of the key points in the production of biogas from livestock wastes is the ability to solve environmental problems of waste management and obtain economic benefits. The article explored the technological scheme of biogas from agricultural waste systems. Incrementally investigated volume of liquid biomass for controlled fermentation in anaerobic conditions. Studied the annual electricity engine-elektroheneratormoyu using biogas plant. Investigated the cost of electricity for own needs and for external customers.

**Keywords:** biohazohenerator, electric generator, piston engine on biogas.