

**DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-2**

УДК 631.147:631.811.98

О. Г. Скляр, к.т.н., проф,

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Р. В. Скляр, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1547-5100

А. С. Комар, інж.

ORCID: 0000-0001-7037-8402

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua, тел.: +380679168580

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБНИЦТВА БІОДОБРІВ

Анотація. В статті запропонувати шляхи удосконалення конструктивно-технологічних параметрів біогазових установок, які дозволять підвищити якість виробництва добрив. Для цього зроблено аналіз п'яти розповсюджених біогазових установок за критичними параметрами: режим/температура, рН, концентрація сухих речовин, органічне навантаження (OLR), час гідравлічного утримання (HRT), склад газу, тип перемішування та контроль амонію. Аналіз досліджень показав, що біодобрива мають суттєві переваги перед іншими органічними та мінеральними добривами. Дана оцінка особливості роботи обладнання, яке використовується на біогазових установках EnviTec Biogas, WELTEC BIOPOWER, Bioenergy DevCo, BTS Biogas і Xergi Biogas для підвищення якості біодобрив. А також представлено огляд характеристик біодобрив, отриманих від розглянутих біогазових установок.

Ключові слова: біогаз, біогазова установка, властивості, хімічний склад, анаеробне зброджування, режим, температура, обладнання, дигестат.

Постановка проблеми. Неефективне використання органічних добрив, що мають низьку поживну цінність або недостатньо стабільні після біологічного перероблення, призводить до ряду екологічних і агрономічних проблем [1]. Такі добрива можуть містити патогени, важкі метали та інші забруднювачі, що небезпечно для ґрунтів, водних ресурсів і здоров'я людей. Неправильне компостування або недостатнє зброджування органічних відходів також знижує ефективність удобрення полів, оскільки рослини не можуть засвоїти необхідні мінерали в повному обсязі [2, 3].

З іншого боку, надмірне застосування мінеральних добрив, особливо азотних (N), фосфорних (P) та калійних (K) сполук, спричиняє деградацію ґрунтів, забруднення водних ресурсів через процеси вимивання (евтрофікацію), що порушує екологічний баланс. Таке застосування також може знизити родючість ґрунту через виснаження органічної речовини та збільшити ризик ґрунтової ерозії [4]. Крім того, надлишкове використання мінеральних добрив



призводить до збільшення емісії парникових газів, зокрема оксиду азоту, що підсилює глобальні кліматичні зміни.

Таким чином, проблема полягає в необхідності покращення якості органічних добрив, підвищення їх поживної цінності та стабільності, а також у зменшенні залежності від хімічних мінеральних добрив через їх негативний вплив на екосистеми та сільськогосподарські угіддя [5-7].

Аналіз останніх досліджень. Перспективи внесення добрив детально досліджуються як українськими, так і зарубіжними вченими Боровик Г., Макаренко Н. А., Голуб Г., Кухарець С., Макаренко Н. А., Нойфельд С., Шевчук В.Я., Ратушняк Г. С. та інш. [3,7-11] Біодобрива, отримані після процесів зброджування органічних відходів, мають значні переваги для аграрного сектору. Вони підвищують родючість ґрунтів, сприяють екологічній стійкості та знижують залежність від мінеральних добрив. Однак, для забезпечення безпеки та якості біодобрив необхідно дотримуватися чітких технологічних регламентів, а також впроваджувати системи контролю якості.

Хімічний склад біодобрив після біогазової установки наведено в таблиці 1 і 2 [12-14].

Таблиця 1

Хімічний склад твердої фракції гною вологістю 75%

Біодобрива	Хімічний склад, кг/т				
	N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Свинячий гній	5,9-6,5	1,4-2,0	5,3-5,8	6,1-6,3	1,5-1,8
Гній ВРХ	4,3-5,0	1,0-1,2	2,7-2,9	7,5-7,8	1,3-1,5
Пташиний послід	17-18	3,0-3,5	10-10,9	8,0-8,8	3,5-4,2
Трава	3,2-3,5	0,7-1,0	1,37-1,4	4,2-4,8	0,5-0,6
Кукурудзяний силос	3,7-4	1,2-1,3	1,3-1,4	4,2-4,5	0,8-1
Жом цукр. буряка	5,0-6,2	-	3,3-3,5	4,2-4,5	1,2-1,6
Відходи бійні	10-12	1,8-2,0	20-25	3,0-3,5	2,5-2,6



Таблиця 2

Хімічний склад рідкої фракції гною вологістю 95%

Біодобрива	Хімічний склад, кг/т				
	N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Свинячий гній	3,1 -3,8	1,4-2,0	2,3-2,4	2,1-2,4	0,5-0,8
Гній ВРХ	1,8-2,2	1,0-1,2	0,8-1,6	2,2-2,8	0,4-0,5
Пташиний послід	7,1-8,2	3,0-3,5	6,8-7,9	5,0-5,6	1,5-2,2
Трав'яний силос	2,2-2,8	0,9-1,5	1,9-2,3	2,0-2,5	0,5-0,7

Формулювання мети статті. Запропонувати шляхи удосконалення конструктивно-технологічних параметрів біогазових установок, які дозволять підвищити якість виробництва біодобрив.

Основна частина. Зброджування органічних відходів у біогазових установках є ефективним методом перетворення сировини в біогаз, а також у виробництві високоякісних добрив. Цей процес не лише зменшує обсяг відходів, але й покращує агрономічні властивості отриманих добрив, що сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур [15-17].

Анаеробне зброджування - це біохімічний процес, під час якого органічні речовини (біомаса, органічні відходи) розкладаються мікроорганізмами в умовах відсутності кисню (анаеробних умов) [18-20]. Цей процес відбувається в кілька етапів і призводить до утворення двох основних продуктів: біогазу (метану, CO₂, і незначних кількостей інших газів) та біодобрив (залишкової маси, яка може бути використана як органічне добриво) [21].

Гумусні добрива надають сприятливу дію на ґрунт, а саме [3, 12, 13]:

- покращуються фізико-механічні та фізичні властивості ґрунту;
- посилюються процеси ґрунтового обміну, підвищення біологічну активність.
- підвищується рухливість ґрунтового фосфору;
- активуються процеси нітроутворення у ґрунті, що у свою чергу сприяє зростанню загального та білкового азоту, збільшенню виділення вуглекислоти ґрунтом;
- прискорюється надходження аміачних та амідних форм азоту, фосфору в рослин;
- підвищується концентрація калію, алюмінію при зниженні кількості магнію, тобто, гумати істотно впливають на зміст і динаміку ґрунтових катіонів;
- також органічні речовини мають низьку теплопровідність та запобігають швидкій віддачі тепла з ґрунту в атмосферу.



Як результат – підвищення урожайності: озима пшениця на 15-20%, цукровий буряк до 20%, кукурудза 20-30%, картопля - до 30% [1, 3].

Аналіз досліджень вчених показав, що біодобрива мають суттєві переваги перед іншими органічними добривами [1,7,8]:

1) відсутність насіння бур'янів. У гною свиней, ВРХ та торфі є велика кількість насіння бур'янів. В 1 тонні свіжого гною знаходиться до 10 тис. насіння різних бур'янів, які, пройшовши через шлунок тварин, не втрачають здатність до проростання. Це призводить до втрати врожаю від 57 ц злакових культур із 1 га.

2) відсутність патогенної мікрофлори. Через органічні добрива часто поширюється багато збудників хвороб рослин. Біодобрива завдяки технології переробки повністю незаражені від патогенної мікрофлори.

3) наявність активної мікрофлори, що сприяє інтенсивному росту рослин. Органічні відходи, які використовують як добриво, не мають або містять невелику кількість мікрофлори.

4) відсутність адаптаційного періоду. Гній перед внесенням у ґрунт потребує тривалої підготовки (6-12 місяців). Корисні речовини частково губляться, а решта починають діяти у ґрунті лише на 2-4 рік після його внесення. Біодобрива починають працювати відразу при внесенні.

5) стійкість до вимивання з ґрунту поживних елементів. За сезон із ґрунту вимивається близько 80% органічних добрив і всього до 15% біодобрив. Таким чином, біодобрива працюватимуть на 3-5 років довше, ніж звичайні добрива.

6) максимальне збереження та накопичення азоту. При тривалому зберіганні (компостування) органічних відходів втрачається до 50% азоту. У біодобривах азот збережеться повністю, крім того, вміст $\text{NH}_4\text{-N}$ збільшується на 10-15%.

7) екологічний вплив на ґрунт. Органічні добрива в не переробленому вигляді завдають більшої шкоди ґрунту, забруднюючи його та ґрунтові води. Тоді як біодобрива є абсолютно чистим екологічним добривом.

Водночас біодобрив мають і переваги у порівнянні з мінеральними добривами [8, 12, 17, 20]:

1) мінеральні добрива засвоюються лише на 35-50%, інші відкладаються у вигляді нітратів у продуктах та ґрунтах;

2) нітрати сприяють розвитку ракових пухлин у шлунково-кишковому тракті;

3) тривалий прийом нітратів у малих дозах призводить до збільшення щитовидної залози;

4) нітрати сприяють збільшенню холестерину та зниженню білка в крові людини та тварин;



5) біодобрива завдяки своїм біологічним властивостям засвоюються рослинами практично на 100%, при цьому вміст нітратів у продуктах мінімальний.

При роботі з мінеральними добривами необхідно точно знати граничні норми внесення. Внесення не обґрунтовано великою кількості мінеральних добрив порушує структуру ґрунту та річний цикл зміни кислотності [3,12,13].

Аналіз біогазових установок за критичними параметрами (режим/температура, рН, концентрація сухих речовин (КСР), органічне навантаження (OLR), час гідравлічного утримання (HRT), склад газу, тип перемішування та контроль амонію) наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Аналіз біогазових установок за критичними параметрами

Марка установки	Режим	рН	КСР	OLR	HRT	Склад газу	Тип перемішування
EnviTec Biogas (Німеччина)	Мезофільний (37-40°C)	6,8-7,2	8-12%	2-3 кг ОР/м ³	25-30 днів	CH ₄ :55-65%, CO ₂ :35-40%, H ₂ S: низький	Механічне та газове
WELTEC BIOPOWER (Німеччина)	Мезо-/термофільний (35-55°C)	6,5-7,5	10-15%	1,5-2,5 кг ОР/м ³	20-30 днів	CH ₄ :50-60%, CO ₂ :35-45%, H ₂ S: низький	Механічне
Bioenergy DevCo (США)	Мезофільний (35-40°C)		8-10%	2-2,5 кг ОР/м ³	30-35 днів	CH ₄ :60-65%, CO ₂ :30-35%, H ₂ S: низький	Газорідинне
BTS Biogas (Італія)	Мезо-/термофільний (37-55°C)	6,8-7,4	10-12%	2,5-3 кг ОР/м ³	20-25 днів	CH ₄ :55-65%, CO ₂ :35-40%, H ₂ S: низький	Газове та механічне
Xergi Biogas (Данія)	Мезофільний (35-38°C)	7,0	10-15%	2-3 кг ОР/м ³	25-30 днів	CH ₄ : 55-65%, CO ₂ : 35-40%, H ₂ S: низький	Механічне

Для покращення якості біодобрив у біогазових установках використовується спеціалізоване обладнання, яке забезпечує оптимальні умови для процесу зброджування, ефективну обробку органічних відходів і поліпшення властивостей кінцевого продукту. Основне обладнання, яке використовується на біогазових установках EnviTec Biogas, WELTEC BIOPOWER, Bioenergy DevCo, BTS Biogas і Xergi Biogas для підвищення якості біодобрив наступне:



1. *Метантенки (ферментатори) з системами підігріву* забезпечують підтримку стабільної температури для процесу анаеробного зброджування (мезофільного чи термофільного). Стабільна температура (35-55°C) забезпечує оптимальні умови для метаногенних бактерій, підвищує розкладання органічної речовини та вивільнення мінералів (N, P, K), що робить добрива більш поживними.

2. *Системи перемішування (механічні та газові мішалки)* забезпечують рівномірне перемішування субстрату для покращення процесу зброджування. Це дозволяє уникнути осідання твердих частинок та рівномірно розподілити мікроорганізми в реакторі, що підвищує якість кінцевого продукту та його однорідність.

3. *Системи для видалення H_2S (сірководню)*. Знижують концентрацію сірководню в біогазі, що запобігає утворенню токсичних речовин у біодобривах. Як результат покращення якості біогазу, зниження вмісту токсичних сполук у біодобривах, що робить їх більш безпечними для ґрунту та рослин (Bioenergy DevCo).

4. *Дегазатори для біодобрив* зменшують вміст залишкового газу у ферментованому субстраті (біодобриві). Дегазоване біодобриво має вищу якість, оскільки позбавлене залишкового метану і сірководню, що робить його більш стабільним і безпечним для зберігання та використання (BTS Biogas).

5. *Автоматизовані системи контролю параметрів (температура, pH, OLR)* забезпечують постійний моніторинг та регулювання процесу зброджування, а це, в свою чергу, дозволяє підтримувати оптимальні умови для утворення високоякісного біодобрива.

6. *Подрібнювачі та шредери для сировини* подрібнюють органічні відходи перед подачею в реактор, що збільшує поверхню для анаеробного розкладання, прискорює процес зброджування.

7. *Системи гомогенізації* змішують різні види сировини для отримання однорідного субстрату - покращення стабільності процесу зброджування та якості добрив.

8. *Фільтри та сепаратори* відокремлюють тверду і рідку фракції біодобрив після зброджування. Сепарація дозволяє отримати різні види добрив: тверда фракція використовується як добриво, на переробку в корм та підстилку, а рідка - як рідке добриво, багате на мінерали. Це підвищує універсальність та ефективність застосування біодобрив.

9. *Системи пастеризації та дезінфекції* дозволяють видалити патогени та шкідливі мікроорганізми з біодобрив, забезпечуючи їх безпеку для рослин і людей.



10. Мембранні системи для концентрування поживних речовин можуть концентрувати азот, фосфор і калій, що підвищує вміст мінералів у біодобриві та збільшує їх ефективність (Xergi Biogas).

11. Системи зворотного осмосу відновлюють воду з рідких відходів для подальшого використання у виробничому процесі. Це зменшує об'єм рідкої фракції, одночасно концентруючи поживні речовини, що робить добрива більш цінними (WELTEC BIOPOWER).

12. Системи компостування для твердої фракції дозволяють стабілізувати органічну речовину та покращити структуру ґрунту після внесення такого добрива (EnviTec Biogas).

Огляд характеристик біодобрив, отриманих від розглянутих біогазових установок (див. табл. 1):

- високий вміст азоту (2-7%), фосфору (1-3%) і калію (2-6%), що робить їх ефективними для підтримки родючості ґрунту;

- містять від 50% до 70% органічних речовин, які позитивно впливають на структуру ґрунту, підвищуючи його здатність утримувати воду та поживні речовини;

- завдяки термічному режиму та ефективному анаеробному зброджуванню, біодобрива мають низький рівень патогенів, що робить їх безпечними для застосування;

- покращують структуру ґрунту за рахунок додавання органічної речовини, що підвищує аерацію, водоутримувальну здатність та родючість ґрунту;

- завдяки анаеробному зброджуванню, мінерали (особливо азот) вивільняються у форму, доступну для рослин. Коефіцієнт засвоєння азоту зростає до 85-90%, що перевищує традиційні органічні добрива.

Наведений вище аналіз розповсюджених у світі біогазових установок показує, що для підвищення якості виробництва добрив за рахунок процесу зброджування органічних відходів, можна запропонувати наступні конструктивно-технологічні шляхи:

1. Поліпшення попередньої обробки сировини задля прискорення процесу розкладання органічних речовин і покращення якості кінцевих добрив, що містять поживні речовини, легкодоступні для рослин [22,23]:

- подрібнення і гомогенізація сировини для збільшення площі контакту мікроорганізмів з субстратом;

- механічна сепарація великих часток до завантаження в метантенки;

- гідротермічна або термічна обробка субстрату для полегшення руйнування клітинних структур та прискорення зброджування.

2. Оптимізація параметрів зброджування надасть стабільний вихід біогазу та кращу якість залишкової біомаси для використання як добрив [24-26]:



- контроль температури для підтримки стабільного термофільного або мезофільного режиму (термофільний процес забезпечує вищу ступінь розкладу органічних речовин);

- автоматизоване регулювання рН для підтримки оптимального середовища для метаногенних бактерій;

- поліпшення систем перемішування для рівномірного розподілу субстрату і мікроорганізмів, що забезпечує рівномірне розкладання та знижує ризик утворення токсичних речовин.

3. Поліпшення процесів дегазації та сушки залишкової маси (дигестату) підвищить концентрацію корисних елементів (N, P, K) в добривах, збільшить термін їх зберігання та зменшить витрати на транспортування [27-29]:

- додаткова дегазація залишків у спеціальних реакторах перед випуском дигестату для максимального вилучення метану;

- системи сушіння дигестату для зниження вологості та покращення зберігання і транспортування. Використання низькотемпературної сушки для збереження корисних речовин у добривах.

4. Співферментація з додатковими джерелами органіки підвищить поживну цінність добрив та покращить структуру ґрунту при їх внесенні [22,29,30]:

- змішування гною з іншими органічними матеріалами (рослинні залишки, харчові відходи), що підвищить вихід біогазу і покращить баланс макроелементів у добривах;

- контроль співвідношення C/N для оптимізації зброджування та підвищення вмісту органічної речовини в кінцевому добриві.

5. Покращення очищення дигестату та переробки твердої та рідкої фракцій підвищить ефективності використання добрив у сільському господарстві, легке їх дозування залежно від потреб ґрунту [6,10,12]:

- 1) розділення твердої та рідкої фракцій дигестату для подальшої окремої обробки. Тверду фракцію можна використовувати як компост або висушене органічне добриво, а рідку — як рідке добриво;

- 2) насичення рідкої фракції поживними речовинами (N, P, K) для підвищення її агрономічної цінності.

6. Використання біостимуляторів і добавок до субстрату підвищить вмісту доступних поживних речовин для рослин [6,8,11]:

- додавання спеціальних ферментів або мікроорганізмів для покращення розкладання складних органічних речовин (наприклад, лігніну та целюлози);

- використання мікробних інокулянтів, які стимулюють метаболічні процеси та поліпшують баланс поживних речовин у добривах.



7. Автоматизація та моніторинг процесів підвищить ефективність роботи установки, мінімізує людські помилки та стабільність процесу зброджування [17,22]:

- інтеграція систем датчиків та контролерів для автоматичного регулювання параметрів процесу зброджування;
- використання систем моніторингу в реальному часі, що дозволяють своєчасно виявляти відхилення та оптимізувати процеси.

Висновки. Запропоновані шляхи удосконалення конструктивно-технологічних параметрів біогазових установок дозволять підвищити якість виробництва добрив. Вони сприятимуть збільшенню вмісту поживних речовин (N, P, K) у кінцевих продуктах, покращать агрономічну структуру ґрунту та зроблять добрива більш ефективними і зручними у використанні.

Список використаних джерел

1. Ковальов Н. Г. Сучасні проблеми виробництва і використання органічних добрив. *Вісник ВНІМЖ*. 2013. № 2 (10). С. 82–101.
2. Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Zollitsch W., Mayer K., Gruber L. Biogas production from maize and dairy cattle manure—influence of biomass composition on the methane yield. *Agric Ecosyst Environ*. 2018. Vol. 118. P. 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.007>.
3. Макаренко Н. А., Бондарь В. І., Борщ Г. М. Екотоксикологічна оцінка біодобрив (продуктів ферментації біогазової установки) на предмет їх відповідності вимогам органічного виробництва. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 4. С. 20–24.
4. Якість ґрунту. Біологічні методи. Визначення мінералізації азоту і нітрифікації в ґрунтах та впливу хімічних речовин на ці процеси (ISO 14238:1997, IDT) : ДСТУ ISO 14238:2003. [Чинний від 2003.11.06]. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 12 с. (Національний стандарт України).
5. L. E. Gauer, Grant C. A. Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency of six spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars, in relation to estimated moisture supply. *Canadian Journal of Plant Science*. 1992. <https://doi.org/10.4141/cjps92-026>.
6. Montemurro F. Anaerobic digestates application on fodder crops: effects on plant and soil. *Agrochimica*. 2008. Vol. 52. P. 297–312.
7. Голуб Г., Кухарець С. Виробництво органічних добрив та біогазу в умовах фермерських господарств. *Наука та інновації*. 2016. № 4. С. 19–21.
8. Шевчук В. Я., Чеботько К. О., Разгуляев В. М. Біотехнологія одержання органо-мінеральних добрив із вторинної сировини. Київ: УАННП «Фенікс», 2001. 204 с.



9. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г., Кощев І. А. Біогазові установки з відновлюваними джерелами енергії термостабілізації процесу ферментації біомаси. Вінниця: ВНТУ, 2017. 110 с.
10. What is digestate? Anaerobic Digestion: Opportunities for Agriculture and Environment, Milano, January 24–25, 2008. *Regione Lombardia, Universita Degli studi di Milano*: Ed. by F. Adani, A. Schievano, G. Bossalie. Italy, 2009. P. 7–18.
11. Тараріко Ю. Системи біоенергетичного аграрного виробництва. Київ: ДІА, 2009. 16 с.
12. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Властивості біодобрив, що отримуються після анаеробної ферментації гною. *Праці ТДАТУ*. 2013. Вип. 13, т. 3. С.110–118.
13. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Аналіз технологій підготовки залишків після анаеробного бродіння. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2015. Вип. 156. С. 649–655.
14. Григоренко С. М. Адаптивні методи утилізації відходів птахівництва. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2021. Вип. 11, т. 1. №18. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-1-18>.
15. Болтянський Б. В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник/ Б. В. Болтянський та ін. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.
16. Komar A. S. Methodological approaches to the optimization of machine technologies of animal waste disposal. *Scientific research in the modern world: Proceedings of the 8th International scientific and practical conference*. Perfect Publishing. Toronto, Canada. 2023. P. 194–198.
17. Petersen Jan-Erik. Energy production with agricultural biomass: environmental implications and analytical challenges. *Eur. Rev. Agric. Econ.* 2008. Vol. 35. P. 385–408.
18. Norazwina Zaino. Kinetics of Biogas Production from Banana Stem Waste, Biogas, Dr. Sunil Kumar (Ed.). 2012 P. 395–408.
19. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. *Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. «Multidisciplinary research»*. Bilbao, Spain 2020. P. 431–433.
20. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Біоконверсні технології прискореної переробки відходів тваринництва в екологічно безпечні добрива. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2021. Вип. 11, т. 2. № 3. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2021-2-3>.
21. Григоренко С. М. Способи переробки пташиного посліду для виробництва теплової енергії. *Сучасні проблеми землеробської механіки: Збірник тез доп. XXIII Міжнар. наук. конференції*. Київ, 2022. С. 126–129.



22. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Методи інтенсифікації процесів метанового зброджування. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2014. Вип. 4, т. 1. С. 3–9.

23. Григоренко С. М. Удосконалення технології метаногенерації пташиного посліду. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: Мат. II Міжнар. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 94–99.*

24. Skliar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome. 2021. P. 171–176.*

25. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa. Lublin, 2014. Vol.16, No 2. P. 183–188.*

26. Скляр Р. В., Скляр О. Г. Основи біогазових технологій та параметри оптимізації процесу зброджування. *Праці ТДАТУ*. 2009. Вип. 9, т. 1. С. 18–28.

27. Степанов Д. В., Ткаченко С. Й., Ранський А. П. Оцінка можливостей отримання енергоносіїв з органічних відходів з урахуванням техногенного навантаження на навколишнє середовище. *Наукові праці ВНТУ*. 2012. № 1. С. 23–26.

28. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Напрями використання органічних ресурсів у тваринництві. *Праці ТДАТУ*. 2011. Вип. 11, т. 5. С. 210–218.

29. Dinh Pham Van. A review of anaerobic digestion systems for biodegradable waste: Configurations, operating parameters, and current trends. *Environmental Engineering*.

30. Войтов В.А. Аналіз технологій утилізації відходів птахівництва за кордоном. *Праці ТДАТУ*. 2019. Вип. 19, т. 4. С. 100–109. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-4-100-109>.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2024 р.

O. Skliar, R. Skliar, A. Komar
Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University

WAYS OF IMPROVING THE QUALITY OF BIOFERTILIZER PRODUCTION

Summary

The article proposes ways to improve the structural and technological parameters of biogas plants that will improve the quality of fertilizer production. Fermentation of organic waste in biogas plants is an effective method of converting raw materials into biogas, as well as in the production of high-quality fertilizers. This process not only reduces the amount of waste, but also improves the agronomic properties of the obtained fertilizers, which helps to increase the yield of agricultural crops. For this purpose, an analysis was made of five widespread biogas plants according to critical parameters: mode/temperature, pH, concentration of dry substances, organic load,



hydraulic retention time, gas composition, mixing type and ammonium control. Analysis of studies has shown that biofertilizers have significant advantages over other organic and mineral fertilizers. To improve the quality of biofertilizers, biogas plants use specialized equipment that provides optimal conditions for the fermentation process, effective treatment of organic waste, and improvement of the properties of the final product. The evaluation of the features of the equipment used at biogas plants EnviTec Biogas, WELTEC BIOPOWER, Bioenergy DevCo, BTS Biogas and Xergi Biogas to improve the quality of biofertilizers is given. An overview of the characteristics of biofertilizers obtained from the considered biogas plants is also presented. The proposed ways of improving the structural and technological parameters of biogas plants will improve the quality of fertilizer production. They will help increase the content of nutrients (N, P, K) in the final products, improve the agronomic structure of the soil and make fertilizers more effective and convenient to use.

Key words: biogas, biogas plant, properties, chemical composition, anaerobic fermentation, regime, temperature, equipment, digestate.