



DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-3

УДК 631.333

О. Г. Скляр, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Р. В. Скляр, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-1547-5100

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

БІОКОНВЕРСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИСКОРЕНОЇ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА В ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ДОБРИВА

Анотація. В статті розглянуто дві технології прискореної переробки сільськогосподарських відходів, об'єднаних на основі взаємного використання біоконверсної енергії з метою зниження енергетичних та ресурсних витрат на ведення аеробних та анаеробних процесів. Запропоновано реалізацію гіпотези, яка полягала в максимальному наближенні процесів розкладання органічної речовини до тих процесів, що відбуваються в результаті функціонування природних екосистем з отриманням більш-менш адекватних за якісними показниками та властивостями продуктів. Відмінною особливістю створюваних технологій є те, що трансформація органічної речовини відбувалася у штучних умовах без впливу ґрунту та його мікрофлори. Разом з тим у створюваних процесах використовувались аналогічні фактори, що дозволили прискорити розкладання органіки.

Ключові слова: анаеробне зброджування, біоконверсні технології, компостування, органічне добриво, відходи, технологічна схема.

Постановка проблеми. Постійно зростаюча потреба у сільськогосподарських продуктах споживання, зокрема рослинництва та тваринництва, зумовлює необхідність створення наукомістких екологічно безпечних технологій [1-3] та технічних засобів інженерно-технологічного забезпечення цих галузей.

Проаналізуємо деякі питання вирішення цієї проблеми, абстрагуючись на замкнутій системі «ґрунт-рослина-тварини-ґрунт». Слід зазначити, що з цієї системи вилучаються не тільки корисні продукти споживання, а й виробляється цілий комплекс різноманітних відходів [3]. В даний час характер поведінки з відходами визначається глобальними



проблемами, пов'язаними з екологічною безпекою щодо кожного із елементів вищезгаданої системи. Крім того, виникає низка проблем матеріально-технічного та енергетичного забезпечення та, відповідно, витрат як на виробництво корисної продукції, так і на переробку отриманих відходів. Перша ланка системи несе у собі тісний взаємозв'язок між вмістом гумусу, тобто вмістом органічної речовини в ґрунті, та продуктивністю рослин. З цього погляду одним з альтернативних шляхів відновлення та підвищення продуктивності ґрунтів є застосування підготовлених та збалансованих за поживними речовинами органічних добрив. Друга ланка системи має забезпечувати отримання екологічно чистої кормової бази тваринництва. Отже, органічні добрива мають розглядатися як елемент землеробства, який підтримує кругообіг та баланс поживних речовин у екологічних агроценозах. Третя, комплексна ланка, характеризується утворенням, накопиченням, а також подальшою переробкою всіляких відходів рослинництва та тваринництва у продукт, придатний для утилізації у сфері системи, що розглядається.

Аналіз останніх досліджень. У світі існує велика різноманітність технологій та технологічних схем, які впроваджені вітчизняними і закордонними вченими [4-7] та використовуються у різних галузях. Незважаючи на явні відмінності, багато з них базуються на аеробній та анаеробній переробці органічної речовини. Безпосереднє застосування промислових технологій та технічних засобів для компостування [2] або анаеробного зброджування сільськогосподарських відходів економічно недоцільне через високу вартість обладнання, а в більшості випадків взагалі неможливо у зв'язку з непристосованістю робочих органів для роботи з компонентами, які мають зовсім інші властивості, неузгодженість щодо продуктивності, і навіть умовами виробництва.

Для правильної побудови технологічного процесу компостування його слід підрозділяти на кілька стадій [2]. Перша – попередня підготовка компостних сумішей перед компостуванням. Друга – стадія прискореного біотермічного компостування. Ця стадія характеризується високою швидкістю споживання кисню, термофільними процесами, високою здатністю біологічного розкладання летких органічних сполук, підвищеним виділенням вологи та газів. Третя – стадія поступового дозрівання компосту з виконанням процесів сушіння, фракціонування тощо. Ця стадія й у природних процесів розкладання органічних речовин, наприклад, у буртах, штабелях та інших відкритих системах. Її відмінність – низькотемпературні процеси, обмежене споживання кисню, наявність анаеробних зон у структурі. З урахуванням сільськогосподарського виробництва, а також залежно від обсягів відходів, процес прискореного компостування у відповідному виконанні може застосовуватися як для відкритих, так і для закритих систем.



Формулювання мети статті. У зв'язку з цим дуже актуальною є проблема створення безвідходних екологічно безпечних технологій переробки органічних відходів тваринництва (гній, послід, стоки, підстилкові матеріали) спільно з рослинними сільськогосподарськими відходами (солома, трава, стебла тощо) з метою одержання високоякісних добрив з необхідними агротехнічними властивостями.

Основна частина. Одним із реальних шляхів підвищення обсягів виробництва органічних добрив може бути створення та впровадження систем прискореного компостування гною спільно з різноманітними органічними відходами рослинного походження. З технологічної точки зору компостування це керований процес із створенням та підтриманням оптимальних умов для проходження мікробіологічних процесів та мінімізацією термінів переробки відходів у якісний продукт. До факторів, які суттєво впливають на процес компостування, слід відносити вологість вихідної сировини або суміші компонентів, однорідність суміші з наявністю розвиненої пористої структури, збалансовану кількість поживних речовин, температуру та примусову аерацію [2].

Пропонована технологія базується на тому, що саме перші дві стадії можуть бути механізовані та контрольовані, і, що найважливіше, це виправдовується з економічного та екологічного погляду.

Водночас компостування, як процес, вимагає дотримання таких положень:

- необхідна раціональна попередня підготовка збалансованих компостних сумішей;
- створення та підтримання оптимальних умов для проходження мікробіологічних процесів;
- забезпечення завершеності процесу з мінімізацією необхідних енерго- та ресурсозатрат;
- гарантія забезпечення якості кінцевого продукту (компосту, органо-мінерального добрива) агротехнічними вимогам;

- безвідходність виробництва, побудована за відомим принципом «нуль відходів» та його санітарно-гігієнічна та екологічна безпека. Інший технологічний підхід до біоконверсної переробки відходів – анаеробне зброджування гною та стоків, яке також дозволяє отримувати високоякісні органічні добрива та додатково біогаз. Анаеробний процес зброджування [8] ведеться у різних температурних режимах від мезофільного до термофільного. Термофільний процес, як найінтенсивніший, потребує додаткових витрат енергії, зокрема енергії вже виробленого біогазу [9]. З цієї точки зору зниження енергетичних витрат можливе шляхом зменшення обсягів відходів, що переробляються, а також шляхом ведення процесу в більш щадному термотолерантному режимі.



Технології, що розглядаються, в переважній більшості випадків, застосовуються окремо в залежності від діючої системи видалення відходів. Поєднання цих альтернативних технологій у єдину технологічну лінію дозволяє вирішити цілий комплекс завдань [8-10]:

- вироблений біогаз може використовуватися як для власних технологічних потреб анаеробного зброджування (утримання температурного режиму), так і в системі аерації процесу компостування (підігрів холодного повітря і, власне, компостної маси на ранніх стадіях). Певна частина біогазу може використовуватися для сушіння дозрілого компосту з метою доведення його до товарної кондиції з відповідним зменшенням транспортних витрат за рахунок зниження маси;

- компостування як екзотермічний процес вимагає додаткової енергії тільки на першому етапі переробки. Надалі кількість енергії, що вивільняється, в результаті мікробіологічних реакцій, достатньо для підтримки температурних режимів в межах 55 °С - 60 °С. Тепло відпрацьованого повітря із системи аерації може рекуперуватися та використовуватися як для потреб системи компостування, так і для обігріву анаеробних біореакторів;

- осад збродженої маси може використовуватися в системі компостування на етапі змішування компонентів безпосередньо перед компостуванням, а також як зволожуючий компонент у разі зниження вологості суміші компостованої нижче технологічної;

- недостатня кількість вологопоглинаючих компонентів на стадії змішування може бути компенсовано за рахунок рециркуляції частини дозрілого або відсіяного компостного продукту, що пройшов відповідну сушку.

Такий комплекс заходів дозволяє взаємно забезпечувати технологічні процеси енергією, що виробляється (власне енергія біогазу і теплова енергія відпрацьованого повітря системи аерації)

Розробка пропонованих біоконверсних технологій побудована на реалізації гіпотези, яка полягає в максимальному наближенні процесів розкладання органічної речовини до тих процесів, що відбуваються в результаті функціонування природних екосистем з отриманням більш-менш адекватних за якісними показниками та властивостями продуктів [10]. Відмінною особливістю створюваних технологій є те, що трансформація органічної речовини відбувається у штучних умовах без впливу ґрунту та його мікрофлори. Разом з тим у створюваних процесах використовуються аналогічні фактори, що дозволяють прискорити розкладання органіки.

Реалізація поставленої проблеми зображено у вигляді схеми на рисунку 1. Більш детально слід розглянути питання щодо підготовки вихідних компостних сумішей перед компостуванням [2]. З наукової та

виробничої точки зору можуть бути використані кілька технологічних підходів.

1. Додавання вологопоглинаючих компонентів для зниження вологості, наприклад, для зниження вологості безпідстилкового гною.

2. Зволоження базового компонента або суміші органічних відходів у разі недостатньої вологості.

3. Введення органічних компонентів з метою підвищення кількості речовин, що легко розпадаються, а також підвищення енергетичного потенціалу сумішей до початку біотермічного процесу компостування.

4. Використання рециркуляційного компосту чи інших наповнювачів для структурального поліпшення вихідної компостної суміші.

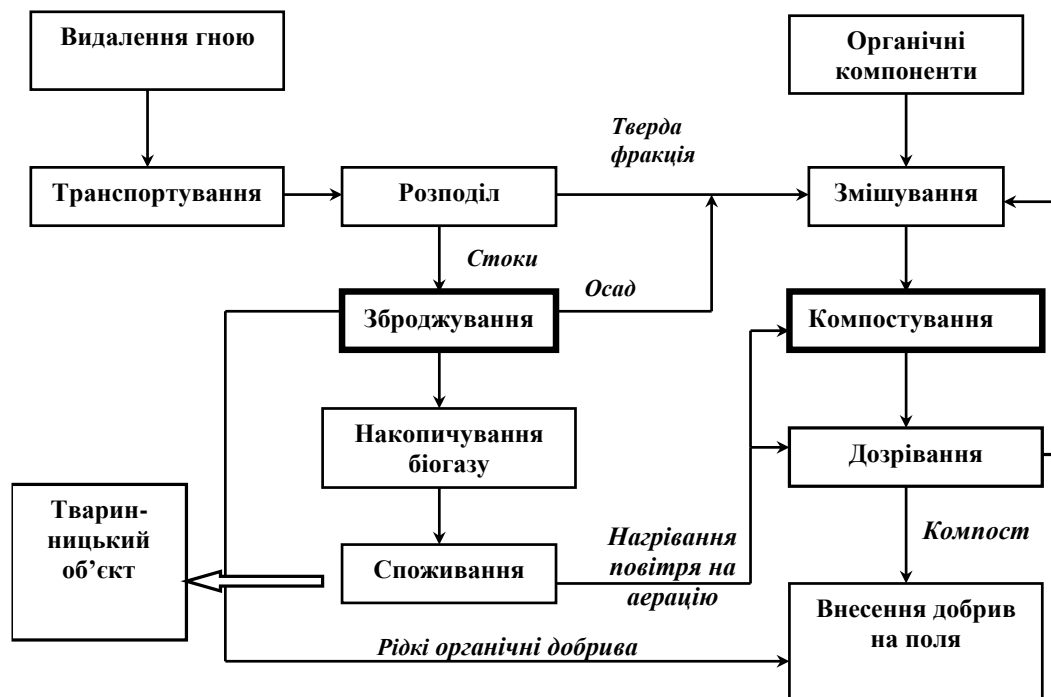


Рисунок 1. Схема біоконверсної переробки відходів

Для створення оптимальних умов проходження мікробіологічних та біотермічних процесів було апробовано наукову гіпотезу, яка полягає в одночасному балансуванні вихідних компостних сумішей за вмістом поживних речовин та технологічною вологістю з подальшим розпушенням до утворення раціональної пористої структури [11].

На першому етапі визначається вологість та вміст органічного вуглецю у сухій речовині передбачуваних компонентів суміші, наприклад гною та соломи. Надалі розраховуються масові пропорції кожного компонента з урахуванням їх фізико-хімічних властивостей.

Алгоритм визначення складу збалансованих компостних сумішей представлений рисунку 2.

Розкриємо суть запропонованого алгоритму. Одночасно з балансуванням суміші за поживними речовинами проводять балансування суміші за вологістю з відносною оцінкою δ розрахункових масових кількостей одного і того ж компонента як вологопоглинач і як енергетичний компонент.

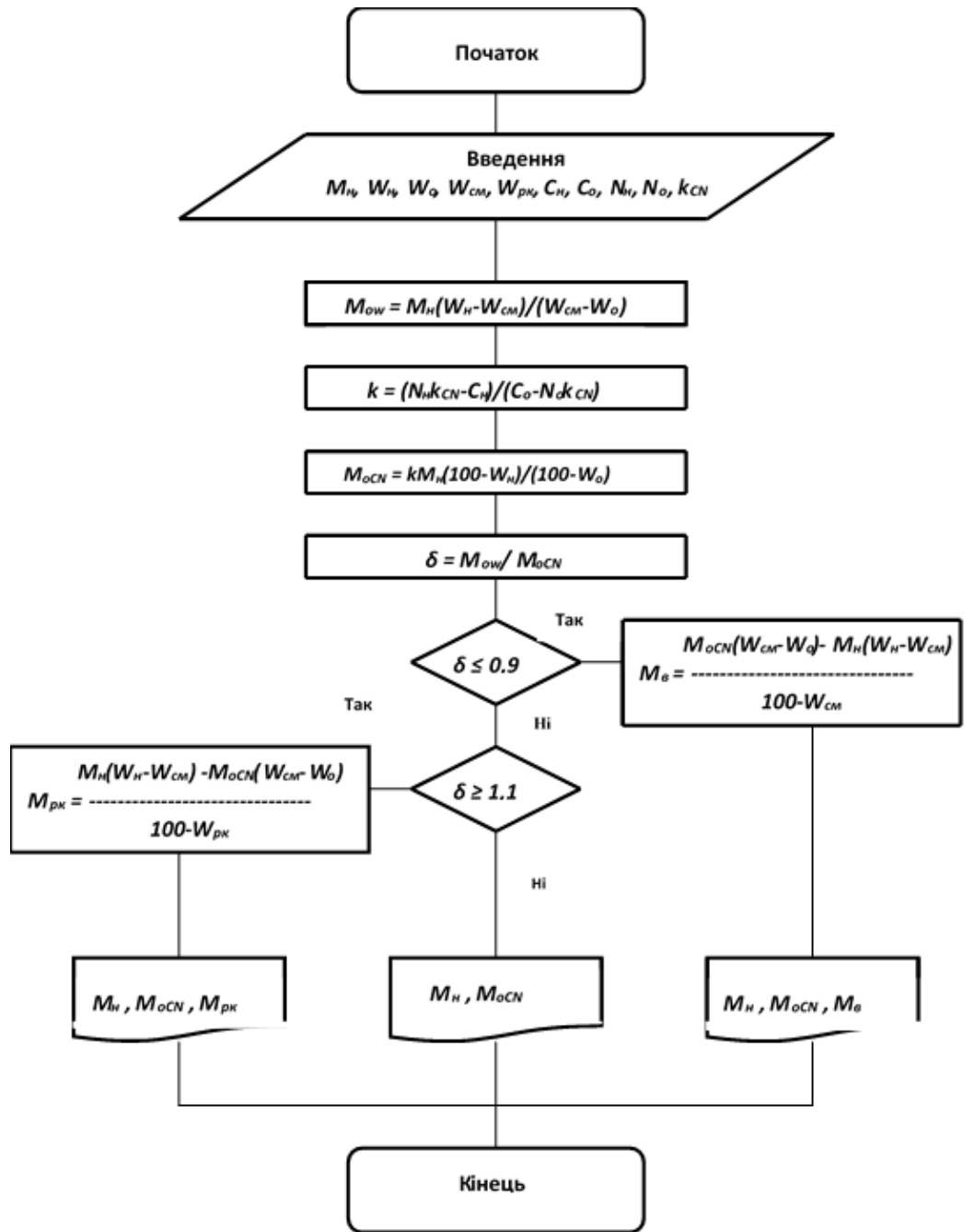


Рисунок 2. Алгоритм визначення складу збалансованих компостних сумішей



Параметр відносної оцінки розраховується за формулою:

$$\delta = M_{ow} / M_{oCN},$$

де M_{ow} - вагова кількість органічного матеріалу (як вологопоглинач) для збалансування вологості суміші, т;
при цьому, M_{ow} визначається за формулою:

$$M_{ow} = M_H (W_H - W_{cm}) / (W_{cm} - W_o),$$

де W_H, W_o - відповідно, вологість гною та органічного компонента, відс.;
 W_{cm} - технологічна вологість компостної суміші, відс.; M_H - вага гною, т.

M_{oCN} - вагова кількість органічного матеріалу (як енергетичного компонента), яка необхідна для балансування суміші по поживним речовинам, т.

У свою чергу M_{oCN} розраховується за формулою:

$$M_{oCN} = k M_z (100 - W_H) / (100 - W_o),$$

де k - поправочний коефіцієнт, який враховує вміст поживних біогенних речовин у гною та в органічному матеріалі:

$$k = (N_H k_{CN} - C_H) / (C_o - N_o k_{CN}),$$

де N_H, N_o - вміст азоту в сухій речовині гною та органічному матеріалі, відс.;
 C_H, C_o - вміст вуглецю у сухій речовині гною та органічному матеріалі, відс.; k_{CN} - оптимальне відношення вуглецю та азоту для ефективною життєдіяльності мікроорганізмів.

У разі коли $\delta < 0,9$ балансування суміші за вологістю ведуть шляхом зволоження її під час змішування компонентів з додаванням води (стоків, рідкої зброженої маси) у кількості, яка визначається за формулою:

$$M_w = \{ M_{oCN} (W_{cm} - W_o) - M_H (W_H - W_{cm}) \} / (100 - W_{cm}),$$

де M_w - масова кількість води для зволоження суміші, т.

У разі коли $\delta > 1,1$ балансування суміші за вологістю проводять шляхом додавання сухого рециркуляційного компосту з попереднім визначенням його вологості. Кількість рециркуляційного компосту розраховується за формулою:

$$M_{pk} = \{ M_H (W_H - W_{cm}) - M_{oCN} (W_{cm} - W_o) \} / (W_{cm} - W_{pk}),$$

де M_{pk} - масова кількість сухого рециркуляційного компосту, т; W_{pk} - вологість сухого рециркуляційного компосту, відс.

Після визначення пропорцій компонентів проводять їх змішування до утворення об'ємної структури з пористістю в межах $0,3 \leq \varepsilon \leq 0,6$.

Для змішування, виконання вантажних робіт, зворушення компосту та компостних сумішей розроблено універсальну машину зі змінними робочими органами [12,13] (рис. 3) з представленою в таблиці 1 технічною характеристикою.

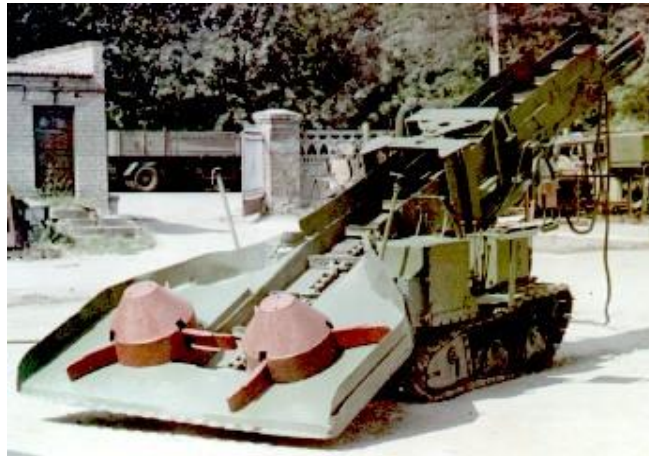


Рисунок 3. Універсальна компостоприготувальна машина

Таблиця 1

Технічна характеристика

Найменування показника	Значення
Продуктивність, м ³ /год.	150
Встановлена потужність, кВт	31
Висота навантаження, м	2,45
Кут повороту конвеєра, град.	±30

Процес прискореного компостування здійснюється у біоферментаційній установці (рис. 4), яку обладнано системами примусової аерації компостних сумішей, рекуперації тепла відпрацьованого повітря, пультом контролю за температурним режимом та вмістом кисню у суміші [14], а також управління технологічним процесом.

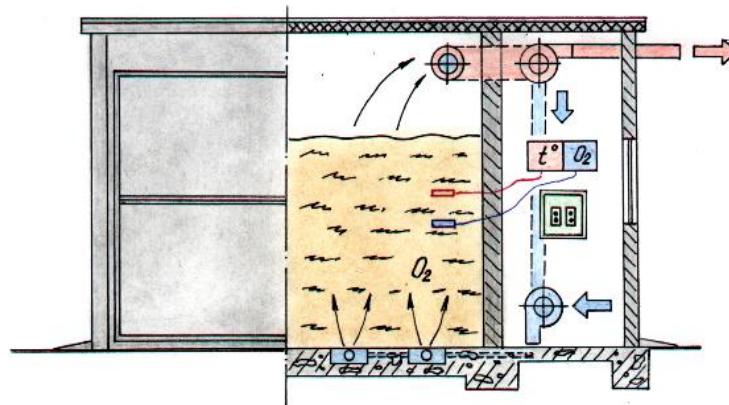


Рисунок 4. Схема біоферментаційної установки для прискореного компостування органічних відходів

Висновки. Запропоновано систему прискореного компостування гною спільно з різноманітними органічними відходами рослинного походження. Вона дозволить знизити енергетичні та ресурсні витрати на ведення аеробних та анаеробних процесів. Також, апробовано наукову гіпотезу, яка полягає в одночасному балансуванні вихідних компостних сумішей за вмістом поживних речовин та технологічною вологістю з подальшим розпушенням до утворення раціональної пористої структури.

Список використаних джерел

1. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research*. Bilbao, Spain 2020. Pp. 431- 433.
2. Скляр О.Г. Обґрунтування факторів, що впливають на процес компостування. *Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: IX Міжнародна науково-технічна конференція*. Глеваха-Київ. 2020. С. 143-145.
3. Boltianska N. 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. Pp. 171-176.
4. Скляр О.Г. Дослідження способів утилізації відходів птахівництва і тваринництва. *Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України: Зб. наукових-праць*. Ніжин, 2019. Вип. 12. С. 298-304.
5. Войтов В.А. Аналіз технологій утилізації відходів птахівництва за кордоном. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь, 2019. Вип. 19. Т. 4. С. 100-109. DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-100-109.
6. Болтянська Н.І., Комар А.С. Визначення заходів з підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва. *WayScience*. Дніпро, 2020. Т.1. С. 118-121.
7. Milko D.O., Pedchenko G.P., Zhuravel D.P., Bratishko V.V. Results of the nutritional preservation research of the alfalfa laying on storage with



two-phase compaction. INMATEH - *Сельскохозяйственное машиностроение*. 2020. Vol. 60. No. 1. Pp. 269-274. DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-60-30>.

8. Skliar R.V. Basic elements of a process line for anaerobic-aerobic treatment of pig complex manufactures. *Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: IX Міжнародна науково-технічна конференція*. Глеваха-Київ, 2020. С. 89-91.

9. Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Lublin, 2014. Vol.16. No2, b. P.183-188.

10. Болтянський Б.В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник/ Б.В. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

11. Спосіб прискореного біотермічного компостування органічних відходів: пат. 8463 Україна: МКИ С05F 17/00. №20041109774; заявл. 29.11.2004; опубл. 15.08.2005, Бюл. №8.

12. Змішувально-завантажувальний орган компостоприготувальної машини: пат. 8399 Україна: МКИ В65G 65/20. № 20040907291; заявл. 06/09/2004; опубл. 15.08.2005, Бюл. №8.

13. Boltianska N. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference*. Bordeaux «Social function of science, teaching and learning». Bordeaux, France 2020. Pp. 478-480.

14. Podashevskaya H. Directions of automation of technological processes in the agricultural complex of Ukraine. Сб. научн. ст. Минск: БГАТУ, 2020. С. 519-522.

Стаття надійшла до редакції 1.11.2021 р.

A. Skliar, R. Skliar
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

BIOCONVERSE TECHNOLOGIES OF ACCELERATED PROCESSING OF LIVESTOCK WASTE INTO ENVIRONMENTALLY SAFE FERTILIZERS

Summary

Two technologies accelerated processing of agricultural waste, combined on the basis of mutual use of bioconverted energy in order to reduce energy and resource costs for aerobic and anaerobic processes, are considered. The realization of the hypothesis is proposed, which consisted in the maximum approximation of the processes of decomposition of organic matter to those processes that occur as a result of the functioning of natural ecosystems to obtain more or less adequate in terms of quality and properties of products. A distinctive feature of the created technologies is that the transformation of organic matter took place in artificial conditions without the influence of soil and its microflora. At the same time, similar factors were used in the created



processes, which allowed to accelerate the decomposition of organic matter. The scheme of bioconverted waste processing is constructed. In the first stage, the moisture content and the content of organic carbon in the dry matter of the proposed components of the mixture were determined. The mass proportions of each component were calculated taking into account their physicochemical properties. An algorithm for determining the composition of balanced compost mixtures is proposed. Simultaneously with the balancing of the mixture by nutrients, the mixture was balanced by humidity with a relative estimate of the calculated mass amounts of the same component as a desiccant and as an energy component. The process of accelerated composting was carried out in a biofermentation plant, which is equipped with systems of forced aeration of compost mixtures, heat recovery of exhaust air, control panel for temperature and oxygen content in the mixture, as well as process control.

Key words: anaerobic fermentation, bioconversion technologies, composting, organic fertilizer, waste, technological scheme.

А. Г. Скляр, Р. В. Скляр

**Таврический государственный агротехнологический университет имени
Дмитрия Моторного**

БИОКОНВЕРСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УСКОРЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА В ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Аннотация

В статье рассмотрены две технологии ускоренной переработки сельскохозяйственных отходов, объединенных на основе взаимного использования биоконверсионной энергии с целью снижения энергетических и ресурсных затрат на ведение аэробных и анаэробных процессов. Предложена реализация гипотезы, которая заключалась в максимальном приближении процессов разложения органического вещества к происходящим в результате функционирования природных экосистем с получением более или менее адекватных по качественным показателям и свойствам продуктов. Отличительной особенностью создаваемых технологий является то, что трансформация органического вещества происходила в искусственных условиях без влияния почвы и ее микрофлоры. Вместе с тем в создаваемых процессах использовались аналогичные факторы, позволившие ускорить разложение органики.

Ключевые слова: анаэробное сбраживание, биоконверсионные технологии, компостирование, органическое удобрение, отходы, технологическая схема.