

**М.Г.ЗІНЧЕНКО, Є.Д. ПОНОМАРЕНКО, К.Р.ШУМЕЙКО**

### **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СУЧАСНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ**

Прагнення людини до поліпшення якості життя змушує його по новому ставитися до якості споживаних продуктів харчування. Екологічно чисті продукти все більш популярні у всіх країнах світу, незважаючи на те, що ціна натуральних продуктів в кілька разів вище, ніж вирощених з використанням гербіцидів і отрутохімікатів. Такі продукти можуть бути отримані тільки при вирощуванні врожаїв із застосуванням методів органічного землеробства, одним із принципів якого є підвищення вмісту гумусу в ґрунтах. Забезпечити збереження ґрунтової родючості можливо методами сучасної біотехнології, заснованими на життєдіяльності мікроорганізмів, здатних переробляти органічні речовини відходів тваринництва в екологічно чисті добрива. У тваринництві формується основна частина сільськогосподарських відходів – гній великої рогатої худоби і свиней, для утилізації якого застосовують найбільш економічний метод метанового зброджування з отриманням біогазу та збродженої біомаси. Однак при переробці в біогазових реакторах підстилкових матеріалів гною виникають проблеми, пов'язані з тим, що соломисті фракції і лігніновмістні компоненти підстилки не розкладаються мікробами і переходять в тверду фракцію збродженої біомаси в незмінному вигляді. Внесення в ґрунт такого непереробленого залишку призводить до погіршення властивостей ґрунту. В зв'язку з цим тверда фракція збродженої біомаси потребує додаткової переробки для покращення її агрохімічних властивостей. Найбільш доцільно використовувати з цією метою вермікомпостування, тобто переробку органічних відходів за допомогою земляних черв'яків. Одним з кінцевих продуктів цього процесу є біогумус. У даній роботі вивчали процес переробки твердої фракції зброженого свинячого гною компостними черв'яками виду *Eisenia foetida* (червоний каліфорнійський черв'як). В цілях визначення оптимального режиму вермікомпостування проводилось планування експерименту. В результаті було отримане високоякісне органічне добриво – біогумус – і визначено оптимальні параметри середовища (рН і вологість), при яких черв'яки володіють найбільш високою біологічною активністю.

**Ключові слова:** органічні відходи, метанове зброджування, тверда фракція, вермікомпостування, біогумус

**М.Г.ЗІНЧЕНКО, Е.Д. ПОНОМАРЕНКО, Е.Р.ШУМЕЙКО**

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СОВРЕМЕННОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ**

Стремление человека к улучшению качества жизни заставляет его по новому относиться к качеству потребляемых продуктов питания. Экологически чистые продукты всё более популярны во всех странах мира, несмотря на то, что цена натуральных продуктов в несколько раз выше, чем выращенных с использованием гербицидов и ядохимикатов. Такие продукты могут быть доступны только при выращивании урожая с применением методов органического земледелия, одним из принципов которого является повышение содержания гумуса в почвах. Обеспечить сохранение почвенного плодородия возможно методами современной биотехнологии, основанными на жизнедеятельности микроорганизмов, способных перерабатывать органические вещества отходов животноводства в экологически чистые удобрения. В животноводстве формируется основная часть сельскохозяйственных отходов – навоз крупного рогатого скота и свиней, для утилизации которого применяют наиболее экономичный метод метанового сбраживания с получением биогаза и сброженной биомассы. Однако при переработке в биогазовых реакторах подстилочных материалов навоза возникают проблемы, связанные с тем, что соломистые фракции и лигнинсодержащие компоненты подстилки не разлагаются бактериями и переходят в твердую фракцию сброженной биомассы в неизменном виде. Внесение в почву такого непереработанного остатка приводит к ухудшению свойств почвы. В связи с этим твердая фракция сброженной биомассы требует дополнительной переработки для улучшения ее агрохимических свойств. Наиболее целесообразно использовать с этой целью вермикомпостирование, то есть переработку органических отходов с помощью земляных червей. Одним из конечных продуктов этого процесса является биогумус. В данной работе изучали процесс переработки твердой фракции сброженного свиного навоза компостными червями вида *Eisenia foetida* (красный калифорнийский червь). В целях определения оптимального режима вермикомпостирования проводилось планирование эксперимента. В результате было получено высококачественное органическое удобрение – биогумус – и определены оптимальные параметры среды (рН и влажность), при которых черви обладают наиболее высокой биологической активностью.

**Ключевые слова:** органические отходы, метановое сбраживание, твердая фракция, вермикомпостирование, биогумус

**M.G. ZINCHENKO, E.D. PONOMARENKO, K.R. SHUMEIKO**

### **APPLICATION OF MODERN BIOTECHNOLOGY METHODS TO IMPROVE SOIL FERTILITY**

A person's desire to improve the quality of life makes the individual reconsider the attitude towards the quality of consumed food. Despite the fact that the prices of natural products are several times higher than of those grown with the use of herbicides and pesticides, organic food is getting more popular in all countries around the world. Such products can only be received when crops are grown using organic farming methods, one of the principles of which is to increase the amount humus in the soil. The preservation of soil fertility can be ensured using the methods of modern biotechnology, which are based on the vital activity of microorganisms capable of converting organic matter from animal waste into environmentally friendly fertilizers. In animal husbandry, the main portion of agricultural waste is cattle and pig manure. The most economical way to dispose it is to

© М.Г.Зінченко, Є.Д. Пономаренко, К.Р.Шумейко, 2021

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*

*Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія, № 1(5) 2021*

use methane digestion, when biogas and fertilizers are obtained. However, when processing manure bedding materials in biogas reactors, the straw fractions and lignin-containing components of the bedding are not decomposed by bacteria and pass into the solid fraction of the fermented biomass unchanged, which is a problem. The infiltration of such an unprocessed residue into the soil leads to deterioration of soil properties. Thereby, the solid fraction of the fermented biomass requires additional processing to improve its agrochemical properties. Most expedient is to use vermicomposting, that is, process organic waste with the help of earthworms. Biohumus, or vermicompost, is one of the end products of this method. In this work, we studied the procedure of processing the solid fraction of fermented pig manure by *Eisenia foetida* compost worms (red Californian worm). In order to determine the optimal approach of vermicomposting, the experiment was planned. As a result, a high-quality organic fertilizer was obtained – biohumus – and the optimal parameters of the environment were determined (pH and humidity), at which the worms have the highest biological activity.

**Keywords:** organic waste, methane digestion, solid fraction, vermicomposting, biohumus

**Вступ.** Сучасні біотехнології, засновані на життєдіяльності мікроорганізмів, які переробляють органічні речовини відходів сільськогосподарства в екологічно чисте добриво, здатні забезпечити збереження ґрунтової родючості, істотно підвищити врожайність сільськогосподарських культур. Найбільш енергетично вигідним мікробіологічним методом утилізації органічних відходів є метанове зброджування. Після переробки відходів в анаеробних біореакторах утворюються рідкі та тверді продукти бродіння. Рідка зброжена маса являє собою концентроване органічне добриво і використовується для підживлення овочевих культур. Твердий продукт бродіння також володіє удобрювальними властивостями, але він містить залишки матеріалу підстилки – лінгіна і соломи, що не розкладаються мікрофлорою біореактора. Внесення такого продукту в ґрунт призводить до погіршення властивостей землі. Тобто тверда фракція зброженої біомаси потребує додаткової переробки.

Враховуючи, що на сучасних тваринницьких підприємствах нагромаджується як рідкий, так і твердий гній, найкраще розв'язання проблеми утилізації відходів – поєднання технологій анаеробного зброджування і біологічного компостування (вермікомпостування) для переробки лігніної деревини за допомогою спеціалізованих дощових черв'яків в біогумус. Вихідний продукт вермікомпостування – це високоякісне органічне добриво, придатне для всіх видів рослин. Технічне забезпечення технології вермікомпостування досить просте й не потребує суттєвих капіталовкладень.

**Літературний огляд.** Щорічно в Україні на підприємствах агропромислового комплексу утворюються близько 70 млн. тонн органічних відходів (гній с.-г. тварин, пташиний послід), які лише на 16 % використовуються в якості добрив при вирощуванні с.-г. культур [1]. Велика частина цих відходів накопичується біля тваринницьких підприємств, що призводить до забруднення довкілля органічними речовинами і патогенними мікроорганізмами, що викликають захворювання

людей і тварин. У зв'язку з цим переробка відходів тваринництва в вискоєфективні добрива та оздоровлення навколишнього середовища залишається одним із пріоритетних завдань агропромислового комплексу.

Для переробки різних органічних відходів найбільш широко використовуються мікробіологічні процеси. Пріоритетним, екологічно безпечним та енергетично вигідним способом утилізації відходів тваринництва є анаеробна (метанова) переробка в біогазових установках (БГУ) з утворенням біогазу та зброженого осаду [2]. При сепаруванні зброженого осаду утворюються тверда (шлам) і рідка (фугат) фракції. Рідка фракція містить менше 5 % сухої речовини і основну кількість азоту і калію і використовується як поливальна підгодівля для овочевих та інших сільськогосподарських культур [3]. Шлам являє собою органічну масу, яка містить фосфор, калій, мікроелементи та інші біологічно активні речовини і є джерелом легкозасвоюваних для рослин поживних речовин [4]. Виходячи з вищесказаного, можна припустити, що застосування зброженого осаду в якості добрива має сприяти збільшенню врожайності сільськогосподарських культур і поліпшення якісних показників ґрунту. [5]. Тим не менш, у вчених немає єдиної думки з даного питання. Одні вчені вважають, що удобрювальна цінність зброженого гною не збільшується [6], інші відзначають рівноцінність дії осаду БГУ і нативного гною [7]. За даними [8], осад забезпечив надбавку врожайності 11 % відносно нативного гною тільки на чорнозёмі, на інших типах ґрунтів вони були рівноцінними. За іншими даними [5, 9] внесення зневодненого шламу і рідинних стоків забезпечувало приріст врожайності сільськогосподарських культур в середньому на 20–30 % порівнянню з незброженим гноем. Разом з цим є дані і про негативний вплив осаду на властивості ґрунту, врожай і якість сільськогосподарських культур. Це зв'язують з тим, що зброжений шлам містить лігнін – залишок лігнінвмістних компонентів гною, який не розкладається в анаеробних умовах біореактора,

оскільки для його деструкції потрібне аеробне середовище з високим вмістом кисню. Потрапляючи в ґрунт, лігнін у край повільно розкладається ґрунтовими мікроорганізмами і при внесенні високих доз збродженого осаду накопичується в ґрунті, що призводить до погіршення його властивостей [10]. Виявлені недоліки біошламу як добрива послужили приводом для введення Міжнародною Федерацією органічного Землеробства (IFOAM), Об'єднанням Екологічного Землеробства (ACOL) обмежень на його використання при виробництві екологічно чистої продукції рослинництва [11].

З огляду на великі перспективи анаеробної переробки відходів тваринництва доцільно провести дослідження з метою поліпшення агрохімічних і санітарно-гігієнічних властивостей збродженого гною. Рішенням проблеми може бути застосування методу вермікомпостування – переробки гною за допомогою технологічних (спеціалізованих) дощових черв'яків. Продукт життєдіяльності черв'яків – капроліти – являє собою матеріал, збагачений біологічно активними сполуками, гуміновими речовинами і корисною мікрофлорою, що наближається за своїми фізико-хімічними властивостями до ґрунтового гумусу [12].

З безлічі видів дощових черв'яків (їх в ґрунті близько 97) найбільш продуктивними є гнойові черв'яки. На базі цього виду в штаті Каліфорнія (США) в 50-і роки минулого століття створена селекційна порода *Eisenia foetida* під назвою «Червоний каліфорнійський черв'як», який відрізняється порівняно коротким періодом дозрівання і високою продуктивністю [13]. Цей штам набув широкого поширення в країнах Західної та Східної Європи, а з початку 80-х років – і в Україні; в даний час в Україні є понад 50 великих фірм з розведення культивованих черв'яків і виробництва вермікомпосту

Ефективність вермікомпостування визначається біологічною активністю черв'яків, яка в свою чергу залежить від багатьох параметрів: якість субстрату (корму), температури, кислотності, вологості середовища, щільності заселення черв'яків. Сприятливими для життєдіяльності черв'яків є вологість 60–80 %, температура 15–25 °С, рН 7,0–7,6, темрява, гарна аерація.

Кожна популяція черв'яків вимагає адаптації до нових субстратів і параметрів компостування, так як від умов середовища залежить загальний стан черв'яків, інтенсивність їх розмноження і накопичення біомаси, а також кількість і якість одержуваного біогумусу.

Звідси випливає, що для кожного нового субстрату необхідно дослідним шляхом визначати параметри технологічного процесу, оптимальні для життєдіяльності даної популяції черв'яків в даних умовах.

**Мета і завдання дослідження** Дослідження проводились з метою визначення оптимальних параметрів технологічного процесу переробки твердої фракції збродженого свинячого гною черв'яками популяції *Eisenia foetida* і оцінки можливості отримання з цього субстрату добрива зі сприятливими агрохімічними властивостями.

Для вирішення поставлених завдань був реалізований планований експеримент. З урахуванням того, що ефективність вермікомпостування визначається біологічної активністю компостного черв'яка, тобто швидкістю його розмноження, в якості критерію оптимізації прийнята величина приросту біомаси (У,г). Факторами, що найбільше впливають на величину приросту біомаси є вологість компосту та рН. Значення цих факторів підтримували в широкому діапазоні величин: рН 6,5 – 8,0, вологість 60,0 – 80,0 %.

**Матеріали і методи проведення дослідження.** Компостування здійснювали по ящикової технології з використанням пластмасових контейнерів для зберігання овочів і фруктів об'ємом 40 л., в днищах яких були просвердлені отвори. Дослідження проводилися в закритому опалювальному підвальному приміщенні, температуру в якому підтримували в інтервалі 18–22°С.

Для проведення досліджень готували субстрат на основі твердої фракції свинячого гною, збродженого в біогазової установці одного з приватних господарств. Зброджену масу відстоювали, відокремлювали згущену частину, яку додатково проціджували і отримували тверду фракцію (шлам). Субстрат для вермікомпостування готували з суміші шламу (75–80 %) і попередньо подрібненої соломи пшениці (20–25 %). Для забезпечення рН субстрату в межах 6,5 – 8,0 в підготовлену суміш додавали вапняну муку. Після перемішування всіх компонентів доводили вологість субстрату до 80 %. Підготовлений субстрат викладали в контейнер шаром 5 см і на поверхню випускали 50 особин черв'яків *Eisenia foetida*. Після проникнення черв'яків в субстрат через 5–10 хвилин поверхню накривали мішковиною. Цикл компостування тривав 45 днів, протягом якого щодня проводився контроль рН, вологості і температури з використанням аналізатора ґрунту рН – 300. Один раз в тиждень черв'яків годували, додаючи по 5

сантиметрів субстрату. Завершення циклу переробки субстрату встановлювали органолептичним методом по зміні кольору і запаху компосту.

Після завершення вермікомпостування всі черви були вилучені з контейнерів для визначення підсумкової біомаси. Для цього на ящик з компостом ставили інший ящик зі свіжим кормом і черви самостійно в нього перебиралися. Агрохімічні показники компосту визначали за стандартними методиками в спеціалізованій лабораторії ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії» (м. Харків).

**Результати досліджень.** Для дослідження взаємодії факторів, що впливають на процес вермікомпостування, була визначена експериментальна область факторного простору, тобто обраний нульовий рівень та інтервали варіювання факторів.

При проведенні активного експерименту виконується кодування факторів, тобто шляхом лінійного перетворення координат факторного простору переходять від системи реальних факторів до безрозмірної системи координат з центром в нульовій точці. У безрозмірній системі координат верхній рівень фактора дорівнює +1, нижній – дорівнює -1, основний рівень дорівнює -0.

У якості плану при плануванні експерименту було обрано повний факторний експеримент (ПФЕ) з числом факторів  $n = 2$  та двома рівнями варіювання факторів. При повному факторному експерименті реалізуються всі можливі комбінації факторів на всіх рівнях і тому число дослідів складає  $N = 2^n$ , що для  $n = 2$  дорівнює  $N = 4$ .

Позначимо фактори, що впливають на процес компостування, як

1)  $z_1$  – вологість компосту, %;      2)  $z_2$  – рН компосту.

Межі зміни факторів наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Межі зміни вхідних параметрів

Умови планування	фактори у натуральному		кодовані значення факторів	
	$z_1$	$z_2$	$x_1$	$x_2$
Основний рівень	70	7,25	0	0
Інтервал варіювання	10	0,75	1	1
Верхній рівень	80	8	1	1
Нижній рівень	60	6,5	-1	-1

План експерименту та його результати – значення відгуку ( $Y$  – приріст біомаси) наведені в табл.2.

Таблиця 2. – Матриця планування та результати експерименту

	№ досліду	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$Y, г$
Точки плану ПФЕ $2^2$	1	+1	-1	-1	+1	70
	2	+1	+1	-1	-1	94
	3	+1	-1	+1	-1	75
	4	+1	+1	+1	+1	103

$x_1, x_2$  – кодовані фактори,  $x_0$  – фіктивний фактор.

За додатковими дослідом  $m_0 = 3$ , які були проведені на верхньому рівні плану, визначено похибку експерименту  $s_{II}^2 = 2,33$ .

План ПФЕ  $2^2$  дає можливість побудувати функцію відгуку у вигляді полінома, який для числа факторів  $n = 2$  має вигляд (1).

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 \quad (1)$$

При статистичній обробці експериментальних даних було застосовано критерій Стьюдента для оцінки значимості коефіцієнтів математичної моделі. Критичне значення критерію для рівня значущості  $\alpha = 0,05$  та кількості ступенів вільності  $f = 2$  складає  $t_{\text{таб}} = 2,31$ . Згідно з критерієм Стьюдента додаток рівняння регресії (1), що показує вплив взаємодії факторів  $x_1x_2$ , виявився незначимим.

За результатами статистичної обробки даних було отримане рівняння регресії першого порядку для кодованих значень факторів:

$$Y = 85 + 13x_1 + 3,5x_2 \quad (2)$$

Адекватність отриманої математичної моделі (2) була оцінена за критерієм Фішера для рівня значущості  $\alpha = 0,05$ , кількості ступенів вільності  $f_1 = 1$ ,  $f_2 = 2$ ,  $F_{\text{крит}} = 18,51$ . Модель адекватно описує залежність приросту біомаси черв'яків у процесі вермікомпостування в досліджуваній області системи кодованих факторів  $x_1, x_2$  від вологості компосту та рН, оскільки розрахункове значення критерію Фішера менше від критичного значення  $F_p = 1,7 < F_{\text{крит}} = 18,51$ .

Для системи реальних факторів  $z_1, z_2$  математична модель має вигляд:

$$Y = -54,5 + 1,3z_1 + 7z_2 \quad (3)$$

На підставі отриманої математичної моделі (3) було проведено аналіз залежності приросту біомаси від значущих факторів. Результати представлені у графічному вигляді (рис.1, 2).

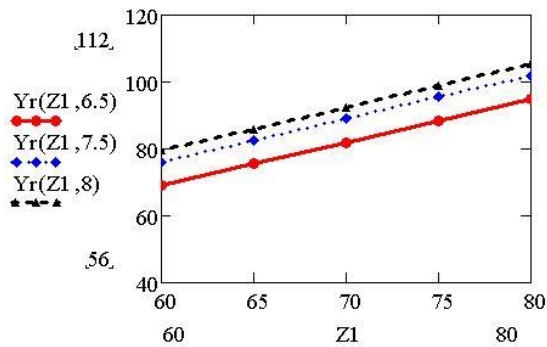


Рисунок 1 – Залежність приросту біомаси від вологості компосту

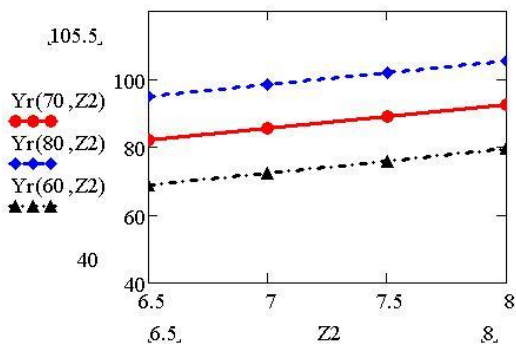


Рисунок 2 – Залежність приросту біомаси від рН

Дослідження приросту біомаси черв'яків проводилося з метою визначення оптимальних значень вологості компосту та рН, за яких приріст біомаси набуває оптимального значення. Для досягнення цієї мети був поставлений екстремальний експеримент з використанням крокового методу Бокса–Уілсона.

Згідно з кроковим методом Бокса–Уілсона [14] для експериментального визначення координати екстремальної точки функції  $Y$  адекватне рівняння регресії (2), що отримане у результаті реалізації факторного експерименту першого порядку, дає можливість визначити напрям пошуку максимуму. Цільова функція зростає швидше всього в напрямку градієнта.

Для здійснення руху вздовж градієнта значення факторів у натуральному вигляді  $Z_j$  змінюються пропорційно до  $b_j \Delta_j$ :

$$h_j = \frac{b_j \Delta_j}{\max |b_j \Delta_j|} h,$$

де  $h$  – значення кроку для фактора з максимальним значенням  $b_j \Delta_j$ ,  $h_j$  – значення кроку для інших факторів,  $b_j$  – коефіцієнти при кодіваних факторах рівняння (2),  $\Delta_j$  – інтервали варіювання факторів.

Початкові значення кроків наведені в табл. 3.

Таблиця 3. – Початкові значення кроків

	$z_1$	$z_2$
Нульовий рівень	70	7,25
Інтервал варіювання $\Delta_j$	10	0,75
Коефіцієнт регресії	13	13,5
$b_j \Delta_j$	13	2,625
$b_j \Delta_j / \max  b_j \Delta_j $	1	0,02
Крок $h_j$	2	0,04

Пошук оптимуму починали із центра плану з основним рівнем факторів. При виконанні кроків деякі дослідження можна проминути, вони «уявні». У процесі руху необхідно враховувати допустимі значення при обмеженнях на незалежні змінні та умови дослідження, тому значення деяких факторів фіксується ( $z_1$ ) та округлюється ( $z_2$ ). Результати реалізації дослідів наведені в табл. 4.

Таблиця 4. – Результати реалізації дослідів

		$z_1$	$z_2$	$Y$
Досліди				
1	реалізований	72	7,3	100,7
2	уявний	74	7,33	–
3	уявний	76	7,37	–
4	реалізований	78	7,4	102,4
5	уявний	80	7,45	–
6	реалізований	80	7,5	101,5

Найбільше значення вихідного параметра досягнуто у 4 досліді. Таким чином, слід вважати, що приріст біомаси набуває максимального значення при вологості компосту  $z_1 = 78\%$  та рН  $z_2 = 7,4$ . Максимальний приріст біомаси черв'яків складає 102,4 г.

Склад отриманого вермікомпосту наведено в табл. 5

Таблиця 5 – Хімічний склад вермікомпосту

Показник	Вміст, %
Вологість	59,33
Суша органічна речовина	37,5
Гумусові речовини	2,11/5,19
Загальний азот, $N$	0,42/1,03
Загальний фосфор, $P_2O_5$	0,41/1,02
Загальний калій, $K_2O$	0,54/1,32
рН	7,2

З даних таблиці видно, що за змістом органічної речовини, загального азоту, фосфору і калію

вермікомпост відповідає вимогам стандарту до органічних добрив [15] Біогумус володіє високими потенційними запасами основних елементів не тільки органічного, але і мінерального живлення і являє собою цінне органічне добриво.

**Висновки.** Визначено оптимальні параметри середовища, при яких черв'яки виду *Eisenia foetida* володіють найбільш високою біологічною активністю в субстратах, що містять зброжений свинячий гній: рН 7,4, вологість 78 %. За таких значень приріст біомаси черв'яків складає 102,4 г.

В результаті вермікомпостування субстрату отриманий продукт (вермікомпост, біогумус), що відповідає вимогам стандарту до органічних добрив.

Побудована математична модель процесу, що дозволяє розрахувати приріст біомаси черв'яків при різних можливих комбінаціях факторів процесу вермікомпостування.

#### Список літератури

1. Державна служба статистики України. Вилучено з [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/oper\\_new.html](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/oper_new.html) ідходів у 2019 році
2. Al Seadi, T. Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer // T. Al Seadi, C.T. Lukehurst. – IEA Bioenergy, 2012. – 38 p.
3. Macadi, M. Digestate: A New Nutrient Source – Review / M. Macadi // Biogas; ed. By S. Kumar. – Croatia: InTech, 2012. – P. 295–310.
4. Агрохимическая характеристика и удобрительные свойства продуктов метанового брожения отходов животноводства / Д.Я. Костенберг [и др.] // Анаэробная биологическая обработка сточных вод: тез. докл. науч.–технич. конф. – Кишинев, 1988. – С. 158–159.
5. Bath, B. Organic household wastes as a nitrogen source in leek production / B. Bath, B. Ramert // Acta. Agr. Scand. Sect. B–Soil Pl. – 2000. – Vol. 49. – P. 201–208.
6. Визла Р.Р. Эффективность действия сброженного навоза / Р.Р. Визла // Удобрение полевых культур в системе интенсивного земледелия / ЛатНИИ земледелия. – Рига, 1990. – С. 43–59.
7. Лапа В.В. Эффективность внесения органических удобрений, получаемых на выходе действующих биогазовых установок, при возделывании кукурузы на дерново-подзолистых почвах / В.В. Лапа, Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева // Земляробства і ахова раслін. – 2011. – № 3. – С. 24–27.
8. Тарасов С.И. Метангенерация отходов животноводства. Агрономическая эффективность использования эфлюента / С.И. Тарасов // Экология и сельскохозяйственные технологии: агроинженерные решения: материалы 7-й междунар. науч.–практ. конф., СПб, 17–19 мая 2011 г. – Санкт–Петербург, 2011. Т.3. – С. 64–70.
9. Семенов И.В. Оборудование и процессы метанового сбраживания органических отходов : монография / И.В. Семенов, М.Г. Зинченко. – Х. : НТУ «ХПИ», 2012. – 272 с.
10. Емцев В.Т. Микробиология: учебник для академического бакалавриата / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. – 8-е изд., – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 428с.
11. Тарасов С.И. Влияние метангенерации на изменение свойств

- навоза, помета, их удобрительную эффективность. Итоги и задачи исследований / С.И. Тарасов // Системы использования органических удобрений и возобновляемых ресурсов в ландшафтном земледелии: Сб. докладов Всероссийской научно–практической конференции В 2–х т. Т. 2. – Владимир: ГНУ ВНИИОУ Россельхозакадемии. – 2013 г. – 254 с.
12. Ганжара Н.Ф. Современные способы биоконверсии органических отходов и получения высококачественных органических удобрений / Н.Ф. Ганжара, Р.Ф. Байбеков, Д.Ю. Колтыхов, И.В. Андреева, О.Е. Ефимов // Известия ТСХА, выпуск 1, 2007 с 133–141
  13. Sherman–Huntoon, R. Latest developments in mid-to-large-scale vermicomposting // Biocycle. 2000, 41(11), p. 51–54.
  14. Товажнянський Л.Л. Комп'ютерне моделювання у хімічній технології / Товажнянський Л.Л., Бабак Т.Г., Голубкіна О.О., Пономаренко С.Д., Сатарін А.В. – Харків, НТУ: «ХПІ» – 2011. – 606с.
  15. ГОСТ 26712–94 Добрава органічні. Загальні вимоги до методів аналізу.

#### References (transliterated)

1. Derzhavna sluzhba statystryky Ukrainy. Vylucheno z [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/oper\\_new.html](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/oper_new.html) idkhodiv u 2019 rotsi
2. Al Seadi, T. Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer // T. Al Seadi, C.T. Lukehurst. – IEA Bioenergy, 2012. – 38 p.
3. Macadi, M. Digestate: A New Nutrient Source – Review / M. Macadi // Biogas; ed. By S. Kumar. – Croatia: InTech, 2012. – P. 295–310.
4. Agrokhimicheskaya kharakteristika i udobritel'ny'e svojstva produktov metanovogo brozheniya otkhodov zhivotnovodstva / D.Ya. Kostenberg [i dr.] // Анаэробная биологическая обработка сточных вод: тез. докл. науч.–технич. конф. – Kishinev, 1988. – S. 158–159.
5. Bath, B. Organic household wastes as a nitrogen source in leek production / B. Bath, B. Ramert // Acta. Agr. Scand. Sect. B–Soil Pl. – 2000. – Vol. 49. – P. 201–208.
6. Vizla R.R. E'ffektivnost' dejstviya sbrozhenogo navoza / R.R. Vizla // Udobrenie polevy'kh kul'tur v sisteme intensivnogo zemledeliya / LatNII zemledeliya. – Riga, 1990. – S. 43–59.
7. Lapa V.V. E'ffektivnost' vneseniya organicheskikh udobrenij, poluchaemy'kh na vy'khode dejstvuyushhikh biogazovy'kh ustanovok, pri vozdel'yvanii kukuruzy' na dernovo–podzolisty'kh pochvakh / V.V. Lapa, T.M. Seraya, E.N. Bogaty'reva // Zemlyarobstva i akhova raslin. – 2011. – # 3. – S. 24–27.
8. Tarasov S.I. Metangeneraciya otkhodov zhivotnovodstva. Agronomicheskaya e'ffektivnost' ispol'zovaniya e'fflyuenta / S.I. Tarasov // E'kologiya i sel'skokhozyajstvenny'e tekhnologii: agroinzhenerny'e resheniya: materialy' 7–j mezhdunar. nauch.–prakt. conf., SPb, 17–19 maya 2011 g. – Sankt–Peterburg, 2011. T.3. – S. 64–70.
9. Semenenko I.V. Oborudovanie i processy' metanovogo sbrazhivaniya organicheskikh otkhodov : monografiya / I.V. Semenenko, M.G. Zinchenko. – Kh. : NTU «KhPI», 2012. – 272 s.
10. Emczev V.T. Mikrobiologiya: uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata / V.T. Emczev, E.N. Mishustin. – 8–e izd., – M.: Izdatel'stvo Yurajt, 2018. – 428s.
11. Tarasov S.I. Vliyanie metangeneraczii na izmenenie svojstv navoza, pometa, ikh udobritel'nyu e'ffektivnost'. Itogi i zadachi issledovaniy / S.I. Tarasov // Sistemy' ispol'zovaniya organicheskikh udobrenij i vozobnovlyaemy'kh resursov v landshaftnom zemledelii: Sb. dokladov Vserossijskoj nauchno–

- prakticheskoy konferencii V 2–kh t. T. 2. – Vladimir: GNU VNIIOU Rossel'khozakademii. – 2013 g. – 254 s
12. Ganzhara N.F. Sovremennyye sposoby' biokonversii organicheskikh otkhodov i polucheniya vy'sokokachestvenny'kh organicheskikh udobrenij / N.F. Ganzhara, R.F. Bajbekov, D.Yu. Kolty'khov, I.V. Andreeva, O.E. Efimov // Izvestiya TSKhA, vy'pusk 1, 2007 s 133–141
13. Sherman–Huntoon, R. Latest developments in mid-to-large-scale vermicomposting // Biocycle. 2000, 41(11), p. 51–54.
14. Tovazhnyans'kij L.L. Komp'yuterne modelyuvannya u khi'mi'chni'j tekhnologi'yi / Tovazhnyans'kij L.L., Babak T.G., Golubki'na O.O., Ponomarenko Ye.D., Satari'n A.V. – Kharki'v, NTU: «KhPI» – 2011.– 606s.
15. HOST 26712–94 Dobryva orhanichni. Zahalni vymohy do metodiv analizu.

Надійшла (received) 11.03.2021

### **Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors**

**Зінченко Марія Георгіївна (Zinchenko Mariya Georgiievna, Zinchenko Mariya)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор, кафедра хімічної техніки та промислової екології; м. Харків, Україна; ORCID: [http://orcid.org/\(0000-0001-7984-2881\)](http://orcid.org/(0000-0001-7984-2881)); e-mail: [mazinchen999@gmail.com](mailto:mazinchen999@gmail.com).

**Пономаренко Євгенія Дмитрівна (Ponomarenko Evgeniya Dmitriievna, Ponomarenko Evgeniya)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент, кафедра інтегрованих технологій, процесів і апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9878-6093>; e-mail: [yevgeniya.ponomarenko@gmail.com](mailto:yevgeniya.ponomarenko@gmail.com).

**Шумейко Катерина Русланівна (Shumeiko Ekaterina Ruslanovna, Shumeiko Kateryna)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», бакалавр, кафедра хімічної техніки та промислової екології; м. Харків, Україна; e-mail: [ekaterinashumeiko5@gmail.com](mailto:ekaterinashumeiko5@gmail.com)