

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

САВЧЕНКО ДМИТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ

661.152

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
ЕЛЕКТРОЗНЕЗАРАЖУВАННЯ ПІДСТИЛКОВОГО ГНОЮ ПІД
ЧАС ОТРИМАННЯ ОРГАНІЧНОГО ДОБРИВА**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Савченко Д.В.

Керівник роботи

Дерев'янку Д.А.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Савченко Дмитро Володимирович. Удосконалення технології електрознезаражування підстилкового гною під час отримання органічного добрива. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В магістерській роботі розроблено перспективні способи та електрофізичні засоби для знезараження посліду: аератор-електробеззаражувач курячого посліду, призначений для знезараження вихідної сировини в електричному полі, створеному пластинами-електродами при вивантаженні органічної маси з аераційного транспортера в бурт на дозрівання; аератор-електробеззаражувач підстилкового гною та посліду, призначений для виготовлення екологічно чистих органічних добрив, що досягається знезараженням вихідної сировини за допомогою електричного поля, створеного електродами в органічній масі аератора.

Розроблені технології знезараження посліду дозволяють отримувати якісне екологічно чисте органічне добриво з класом загрози IV-V. При тривалості дії 100, 110 та 180 хвилин відбувається повне знищення мікроорганізмів при різних способах електрофізичного впливу на послід (ультразвуковому, електричному та ультрафіолетовому). Отримане високоефективне, економічно доступне, екологічно чисте зручне у використанні гранульоване добриво може бути застосоване у сільському господарстві для відновлення родючості ґрунтів та підвищення врожайності рослин.

Ключові слова: *органічне добриво, гній, послід, аератор-електробеззаражувач, технологія.*

ANNOTATION

Dmytro Volodymyrovych Savchenko. Improving the technology of electrical disinfection of bedding manure when obtaining organic fertilizer. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the master's thesis, promising methods and electrophysical means for the disinfection of litter were developed: an aerator-electrodisinfector of chicken litter, designed for the disinfection of raw materials in the electric field created by electrode plates during the unloading of organic mass from the aeration conveyor to the side for ripening; aerator-electrodisinfector of bedding manure and droppings, intended for the production of ecologically clean organic fertilizers, which is achieved by decontamination of raw materials with the help of an electric field created by electrodes in the organic mass of the aerator.

The developed technologies of decontamination of litter allow to obtain high-quality ecologically clean organic fertilizer with threat class IV-V. With a duration of action of 100, 110 and 180 minutes, complete destruction of microorganisms occurs with various methods of electrophysical impact on litter (ultrasonic, electric and ultraviolet). The resulting highly effective, economically available, environmentally friendly, easy-to-use granular fertilizer can be used in agriculture to restore soil fertility and increase plant productivity.

Key words: *organic fertilizer, manure, manure, aerator-electrodisinfector, technology.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПІДСТІЛКОВОГО ПОСЛІДУ..	9
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	22
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Розвиток птахівництва є одним із основних факторів забезпечення продовольчої безпеки країни. Згідно з Розпорядженням КМУ питомий обсяг м'ясо-молочної продукції вітчизняного виробництва має становити до 2030 року не менше 90%, що потребує інтенсивного розвитку виробництва. Підстилковий послід з птахівницьких підприємств багатий біогенними речовинами і несе небезпеку в епідеміологічному відношенні, відповідно рішення щодо знезараження та переробки посліду є важливим завданням.

Вирішення питання охорони навколишнього середовища та природних ресурсів від забруднення можливе лише при комплексному підході до розробки та впровадження технологій та технічних засобів, призначених для переробки органічних відходів сільськогосподарського виробництва

Основна мета – отримання додаткових корисних продуктів та охорона навколишнього середовища.

В даний час у світі розроблено безліч різних електротехнологій зі знезараження посліду. Величезні обсяги підстилкового посліду повинні перероблятися в органічне добриво, пічне паливо, біогаз для отримання теплової та електричної енергії, спалюватися в котлах для опалення тваринницьких приміщень тощо. Грамотно організована утилізація відходів дуже важлива для успішного ведення конкурентоспроможного господарства, до того ж ця сфера знаходиться під пильним державним контролем. Незважаючи на це, господарств, оснащених сучасними очисними спорудами, в Україні одиниці. За останні кілька років ситуація із впровадженням сучасних технологій утилізації підстилкового гною та посліду не зрушила з місця.

Таким чином, проблема екологічної безпеки сільськогосподарського виробництва стає дедалі гострішою є однією з найважливіших підвищення стійкості розвитку сільського господарства України Ігнорування екологічного

підходу до утилізації посліду призводить до небезпечного забруднення ґрунтових і поверхневих вод, повітряного басейну, ґрунтів, до зростання захворюваності тварин і населення.

Для підвищення екологічної чистоти органічного добрива застосовують електрофізичні дії та вплив електромагнітних та електричних полів. Найкращі показники знезараження підстилкового посліду отримали при обробці ультразвуковим (УЗ) та ультрафіолетовим (УФ) опроміненням, але при високих енергетичних витратах. Багатьма авторами доведено ефективність установок для знезараження посліду.

Такі установки потребують великих енергетичних витрат. У зв'язку з цим нами обрано концепцію знезараження посліду в аераційних цехах та біореакторах.

Пропонується забезпечити знезаражуючий вплив на підстилковий послід за допомогою ультразвукового (УЗ), ультрафіолетового (УФ) опромінення, а також електричного поля постійного струму (ЕПСТ) для підвищення екологічної чистоти органічного добрива.

Для вдосконалення такої технології необхідні електротехнологічні установки, які виконують функцію знезаражувальної дії.

Мета дослідження – підвищення ефективності ультрафіолетового, ультразвукового та електричного впливу на послід для його знезараження від патогенної мікрофлори.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Розробити перспективні способи та електрофізичні засоби для знезараження підстилкового посліду.

2. Провести експериментальні дослідження щодо впливу ультрафіолетового, ультразвукового та електричного впливу на знезараження підстилкового посліду.

3. Проаналізувати хімічний склад органічного добрива, отриманого із знезараженого підстилкового посліду.

Об'єкт досліджень: електротехнологічні процеси знезараження підстилкового посліду для підвищення екологічної чистоти органічного добрива.

Предмет досліджень: закономірності електротехнологічних впливів під час знезараження посліду при підвищенні екологічної чистоти органічного добрива.

Методологія та методи дослідження. Лабораторні та польові дослідження електротехнологічного процесу знезараження підстилкового посліду проведені за методиками відповідно до чинного ДСТУ, а також з розробленими приватними методиками з використанням сертифікованих приладів та обладнання. Створені експериментальні установки, на яких проведено відповідні дослідження. Обробка одержаних результатів досліджень здійснювалася на ЕОМ за допомогою прикладних програм: MathCAD 14, Statistica 12.0, Microsoft Excel 2010.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Дерев'янюк Д. А., **Савченко Д. В.** Результати експериментальних досліджень процесу знезараження підстилкового гною та посліду електричним полем постійного струму. Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2022» 20 травня 2022 року Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 7-9.

2. Дерев'янюк Д. А., **Савченко Д. В.** Аналіз існуючих технологій переробки підстилкового гною/посліду. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022.С. 281-285.

3. **Савченко Д. В.** Методика досліджень процесу знезараження підстилкового посліду. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної*

конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 280-281.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для виробництва представляє розроблений електротехнологічний процес знезараження підстилкового посліду.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 40 сторінки комп'ютерного тексту, містить 31 рисунки і 1 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПІДСТИЛКОВОГО ПОСЛІДУ

1.1 Аналіз існуючих технологій переробки підстилкового гною/посліду

Для вибору найбільш раціональних технологій переробки сировини провели аналіз усіх існуючих технологій з точки зору їх еколого-економічної доцільності та можливості промислового виробництва машин та обладнання для забезпечення їх реалізації.

З усього різноманіття технологій шляхом часткового відсіву на основі основних критеріїв (вологість вихідного гною не більше 93% і надійне знезараження) відібрали 9 перспективних технологій:

1. Технологія щоденного видалення підстилкового гною та посліду механічними засобами, змішування з вологопоглинаючими матеріалами (торф), ферментації суміші шляхом дворазового перемішування в літній період на майданчиках, зберігання та внесення компостів у ґрунт.

2. Технологія щоденного видалення гною або посліду механічними засобами, поділу на фракції, ферментації твердої фракції в біореакторах барабанного типу, зберігання та внесення компосту в ґрунт, рис. 1.1.

3. Технологія щоденного видалення гною або посліду механічними засобами, поділу на фракції, добавки до твердої фракції асоціації целюлозолітичних мікроорганізмів АЦМ-У, ферментації суміші в біореакторах барабанного типу, зберігання компосту та внесення їх у ґрунт. Технологія забезпечує зменшення термінів обробки вихідного матеріалу 1,5 разу.

4. Технологія щоденного видалення підстилкового гною та посліду механічними засобами, змішування з наповнювачем (торф), ферментації суміші в біореакторах камерного типу, зберігання та локального внесення їх у ґрунт, рис. 1.2.

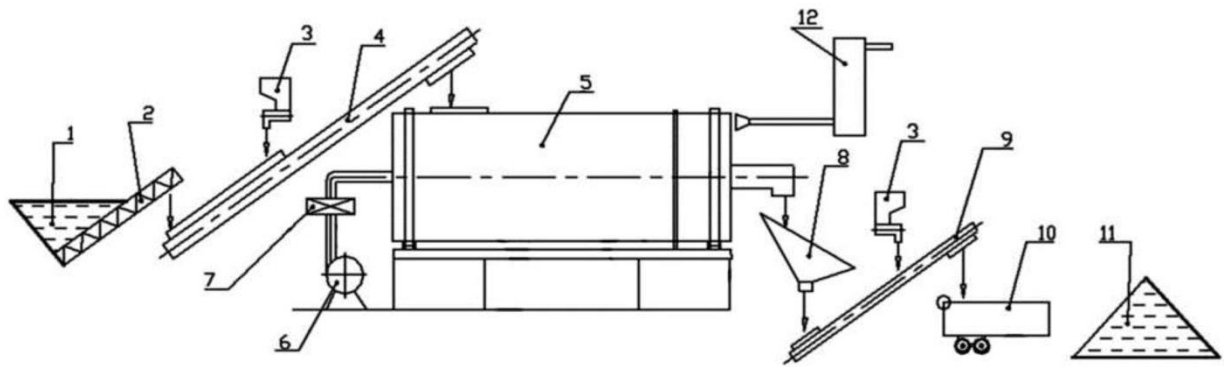


Рис. 1.1. Технологічна схема виробництва компостів у біореакторі барабанного типу (технологія 2 та 3): 1 – ємність для твердої фракції гною; 2 – транспортердозатор; 3 – дозатори мікродобавок; 4 – транспортер-змішувач; 5 – біореактор; 6 – вентилятор; 7 – електрокалорифер; 8 – сепаратор; 9 – відвантажувальний транспортер; 10 – буртоукладач; 11 – майданчик зберігання добрив; 12 – система очищення повітря.

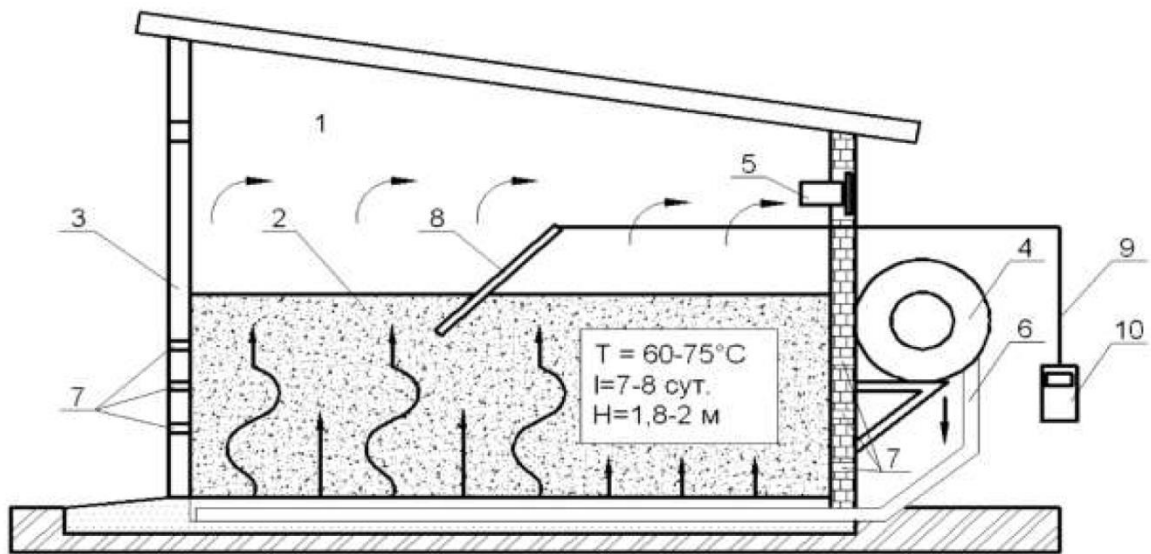


Рис. 1.2. Камерний біоферментатор (технологія 4): 1 – камера біоферментатора, 2 – робоча суміш, 3 – ворота, 4 – напірний вентилятор, 5 – вентилятор витяжний, 6 – система напірних повітроводів, 7 – отвори для вимірювання температури, 8 – штанга вимірювача кисню, 9 – гнучкий шланг, 10 – вимірювач кисню.

5. Технологія періодичного або щоденного видалення безпідстилкового гною і посліду, анаеробна переробка гною в метантенках і використання газу в якості котельного палива і гною в якості добрива рис. 1.3.

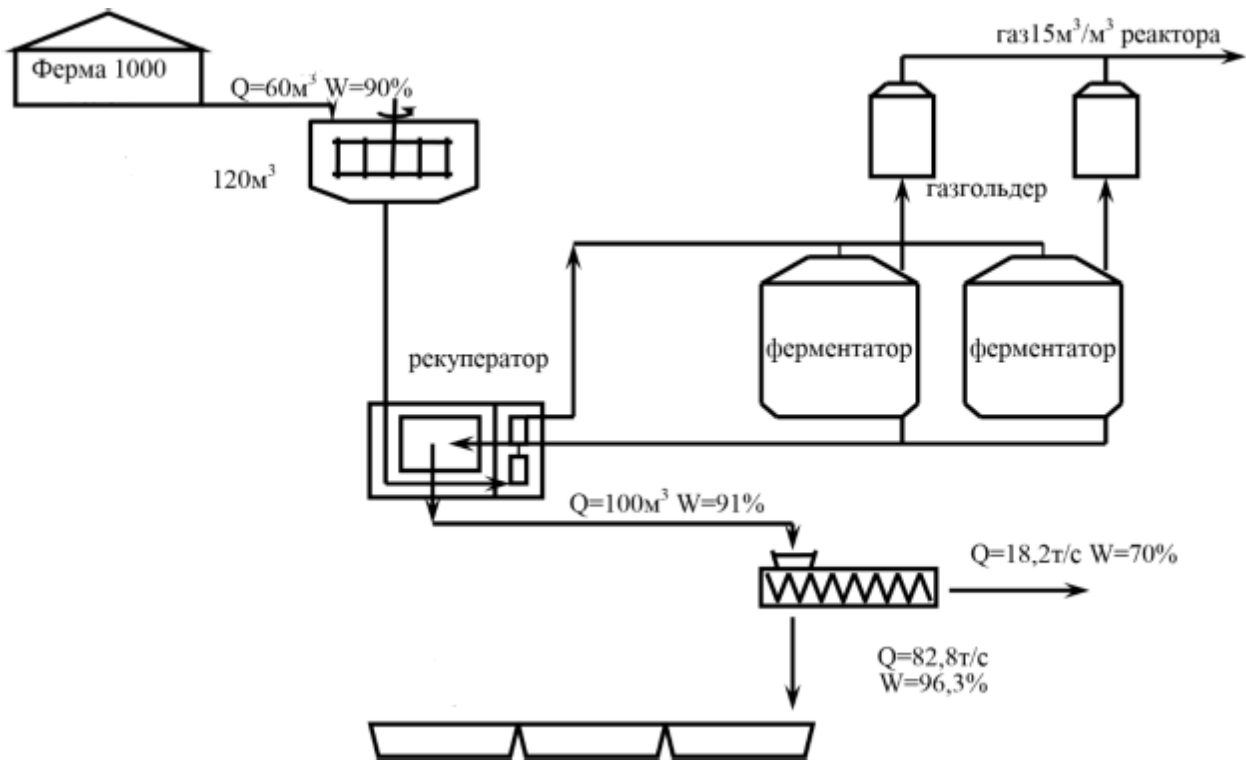


Рис. 1.3. Технологічна схема обробки гною ВРХ методом метанового збродження (технологія 5,6 і 7).

6. Технологія періодичного або щоденного видалення гною і посліду, їх інтенсивне подрібнення, анаеробний обробіток гною в суміші з рослинними залишками рослинництва (силос - 30%) в метантенках і використання в якості котельного палива і гною в якості добрива.

7. Технологія періодичного або щоденного видалення гною і посліду, інтенсивне подрібнення до молекулярного рівня і обробка суміші в анаеробних умовах в метантенках з використанням газу в якості котельного палива і гною в якості добрива.

8. Технологія періодичного або щоденного видалення гною або посліду, поділ на фракції, стерилізації рідкої фракції в установці активації біологічних процесів, сушіння та гранулювання твердої фракції, зберігання та локального внесення їх у ґрунт (технологія "БІОКЛАД").

9. Технологія періодичного чи щоденного видалення гною та посліду, випарювання вологи в умовах низького тиску (вакуум-сушіння).

Для порівняння з вище представленими були обрані традиційно застосовувані технології:

10. Технологія поділу гною на тверду та рідку фракції технічними засобами, тривалого зберігання та внесення їх у ґрунт, яка найбільш широко застосовується в даний час в переважній більшості господарств України, але не повністю відповідають екологічним вимогам.

11. Технологія періодичного чи щоденного видалення гною та посліду, біологічного знезараження шляхом тривалого зберігання та внесення їх у ґрунт.

Аналіз цих технологій проводили за непрямими критеріями:

- за кількістю операцій, од.;
- за кількістю технічних засобів, од.;
- за тривалістю виконання, добу;
- за сумарними втратами поживних речовин групи NPK, %
- за ступенем знезараження, +/-.

Результати аналізу за цими критеріями наведено у таблиці 1.

Таблиця 1.1 – Оцінка технологій по локальним критеріям

Найменування технології	Оцінка по локальним критеріям				
	Кількість операцій, од.	кількість техніки, од.	Тривалість виконання, діб	Втрати, NPK, %	Ступінь обеззараження, +/-
1	2	3	4	5	6
Компостування на майданчику з двократним перемішуванням	16	13	30	15-20	+
Ферментація в біореакторі барабанного типу	16	17	3-5	5-10	+
Ферментація в біореакторі барабанного типу з використанням каталізатора	17	16	1-3	3-5	+
Ферментація в біореакторі камерного типу	18	16	7-10	5-10	+
Переробка в метантенках з отриманням біогазу	12	10	10-15	15-20	+

Продовження таблиці 1.1

Переробка в метантенках суміші рослинними рештками рослинництва	в в з	14	12	10-15	15-18	+
Переробка метантенках попереднім подрібненням сировини до молекулярного рівня	в з	16	14	1-2	3-5	+
Технологія «Біоклад»		19	16	1-2	10-15	+
Вакуум сушка		11	9	1-2	5-7	+
Розподіл на тверду і рідку фракції наступним тривалим зберіганням і внесенням	на з	18	12	180/90	до 50	-
Тривале зберігання і внесення	і	6	4	180	30-40	-

Аналіз еколого-економічної оцінки розглянутих технологій показує, що вони мають досить високу екологічність, прийнятні економічні показники, і можуть застосовуватися в сільськогосподарському виробництві. Проте технології 3 і 7 (табл. 1.1), будучи найперспективнішими, перебувають у стадії розробки та до широкого застосування мають пройти виробничу перевірку.

1.2 Методи знезараження підстилкового гною та посліду

При оцінці безпеки відходів тваринницьких та птахівничих підприємств основними є їх гігієнічний стан та витрати на досягнення результату.

З гігієнічної точки зору, відходи повинні бути безпечні в епідеміологічному та радіологічному відношенні, нешкідливі за хімічним складом і повинні мати сприятливі органолептичні властивості.

Аналіз джерел з питання [1, 7] дозволив виділити такі групи параметрів, що характеризують гігієнічне властивості стоків тваринницьких підприємств:

фізичні (радіологічні, органолептичні); хімічні; біологічні (мікробіологічні та паразитологічні).

Гній може бути знезаражений фізичним, хімічним чи біологічним методами.

До фізичних методів належать термічний, електрогідравлічний ефект, електрофлотокоагуляція, метод ТВЧ та ВН, опромінення [46].

Термічний метод знезараження гною заснований на створенні в ньому високої температури (не нижче 60 °С), яка згубно діє на збудників інфекції. Тому початком терміну знезараження прийнято рахувати не день, коли його поклали в бурти, а день підйому температури гною в штабелі до 60°С. Витримують гній у штабелі після підйому температури в теплу пору року один місяць, холодну – два місяці. Після закінчення зазначеного терміну гній пресують і зберігають ущільненому вигляді. Таким чином відбувається дозрівання гною для внесення під різні сільськогосподарські культури і можна дійти висновку, що знезаражений гній як безпечний у сенсі поширення інфекцій так і більш цінне добриво, ніж свіжий [4].

Одним із перспективних методів знезараження є використання електрогідравлічного ефекту. Електрогідравлічним ефектом (ЕГЕ) називається один із способів перетворення електричної енергії в механічну, що відбувається без проміжних механічних ланок. Сутність цього процесу полягає у формуванні імпульсного електричного розряду та утворенні навколо його зони високих гідравлічних тисків, які здійснюють корисну механічну роботу [9]. При цьому в рідині відбуваються різні фізичні та хімічні процеси. Здійснення ЕГЕ пов'язане з відносно повільним накопиченням енергії в джерелі живлення та практично миттєвим її виділенням у рідкому середовищі. Основними факторами, що діють ЕГЕ є високі та надвисокі імпульсні гідравлічні тиски, що призводять до появи ударних хвиль зі звуковою та надзвуковою швидкостями; значні імпульсні переміщення об'ємів рідини, що відбуваються зі швидкостями, які досягають сотень метрів за секунду; потужні імпульсні кавітаційні процеси, здатні охопити

великі об'єми рідини; багаторазова іонізація з'єднань та елементів. Проведені дослідження показують можливість використання ЕГЕ з метою знезараження тваринницьких стоків. Оброблені маси можна використовувати як повністю знезаражене органічне добрива. Високий ККД ЕГЕ та унікальні можливості є основою для застосування ЕГЕ у процесі знезараження стічних вод замість повсюдно використовуваного хлорування [2].

Метод електрофлокоагуляції (електричний та хімічний поділ) застосовують для повнішого відокремлення від рідини дрібних зважених частинок. Для цього через рідку фракцію пропускають електричний струм або обробляють її хімічними коагулянтами (неорганічними або полімерними катіоноактивними). При такій обробці власний заряд частинок знижується до значення, близького до нуля, внаслідок чого відбувається коагуляція зважених частинок з утворенням пластівців, які неважко відокремити від рідини-носія.

Хороші результати дає застосування неорганічних коагулянтів (солей заліза та алюмінію) при механічному поділі осаду або стоків на фракції. Недолік методу – велика витрата коагулянтів – від 0,1 до 1% від маси гнойових стоків. Значно менше (50-200 г на 1 м³) потрібно полімерних катіоноактивних коагулянтів. При попередньому обробленні маси неорганічними коагулянтами перед механічним поділом осаду або стоків на фракції різко збільшується повнота виділення сухої речовини та елементів живлення у тверду фракцію.

Висновки по розділу

1. На основі аналізу, виконаних раніше досліджень з розробки та впровадження технологій для знезараження гною та посліду встановлено, що розроблені установки мають високі експлуатаційні витрати, в тому числі через періодичну дію роботи, а установки безперервно-поточної дії не забезпечують повного знезараження. Завдання підвищення екологічної чистоти органічного

добрива шляхом впливу УФІ, УЗД та ЕМП в установках потокової дії залишається невирішеною.

Методи знезараження підстилкового гною та посліду шляхом впливу ультразвукового (УЗ), ультрафіолетового (УФ) опромінення, а також електромагнітного (ЕМП) та електричного полів (ЕП) недостатньо досліджені.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика дослідження процесу знезараження підстилкового посліду ультразвуковим опромінення

Основне завдання галузі птахівництва – забезпечення населення продуктами харчування: м'ясом, молоком, яєчною продукцією. Поряд з цим, тваринницькі та птахівничі підприємства виробляють сировину для легкої, харчової та переробної промисловості: пух, перо, потрашки, шкіри та субпродукцію.

Організм птиці не повністю переробляє корм, відповідно велика кількість поживних речовин виходять із послідом. Тому підстилковий гній і послід необхідно знезаражувати та переробляти на органічне добриво або додавати в корм при відгодівлі бичків. Переробка підстилкового гною та посліду на органічне добриво проводиться в аераційних цехах, буртах та біореакторах.

Свіжий підстилковий послід – це сприятливе середовище для розвитку патогенної мікрофлори, хвороботворних бактерій та гельмінтів. При розкладанні в атмосферу виділяються у великій кількості біологічний газ, метан, сірководень, аміак, водень та інші сполуки.

Тому свіжий послід і підстилковий гній необхідно знезаражувати і переробляти на високоякісні органічні добрива. Було розглянуто процес знезараження мікробіоти ультразвуковим опроміненням та проведено дослідження свіжого курячого посліду та підстилкового гною на наявність грибною мікробіоти та колоній бактеріальною мікробіоти після знезараження методом ультразвукового опромінення.

Об'єктом досліджень була мікробіота підстилкового гною та курячого посліду. Для досліджень впливу ультразвуком на мікробіоту відбирали проби з бурта по 1 кілограму вологістю до 45% і поміщали в ультразвукову ванну марки

САПФІР (рис. 2.1), встановлювали певний режим роботи і включали. Досліди проводили у шестиразовій повторності.

В ультразвукову ванну укладали порцію курячого посліду масою в 2 кг (рис. 2.2), встановлювали режим роботи при температурах 22°C і 65°C, а після обробки досліджували на мікроскопі мікробіоту. За отриманими результатами будували графічні залежності.



Рис. 2.1. Електроустановка для дослідження мікробіоти підстилкового посліду в ультразвуковій ванні «САПФІР-4,0»: 1 – проби посліду, 2 – ультразвукова ванна.



Рис. 2.2. Порція зразка в ультразвуковій ванні

2.2 Методика дослідження процесу знезараження підстилкового посліду ультрафіолетовим опроміненням

Проводили дослідження свіжого підстилкового курячого посліду на наявність грибної мікробіоти та колоній бактеріальної мікробіоти після

зnezараження методом ультрафіолетового опромінення. Об'єктом досліджень є мікробіота підстилкового гною і помету. Для дослідження впливу ультрафіолетового опромінення на мікробіоту відбирали його проби, уклали в чашку Петрі шаром завтовшки 10 мм, встановлювали ультрафіолетове джерело на відстані 15 см від зразка потужністю 130 Вт і опромінювали при експозиціях часу 30 хвилин, 1 годину, 2 години, 3 години, 4 години (рис. 2.3). Досліди проводили у п'ятикратній повторності.

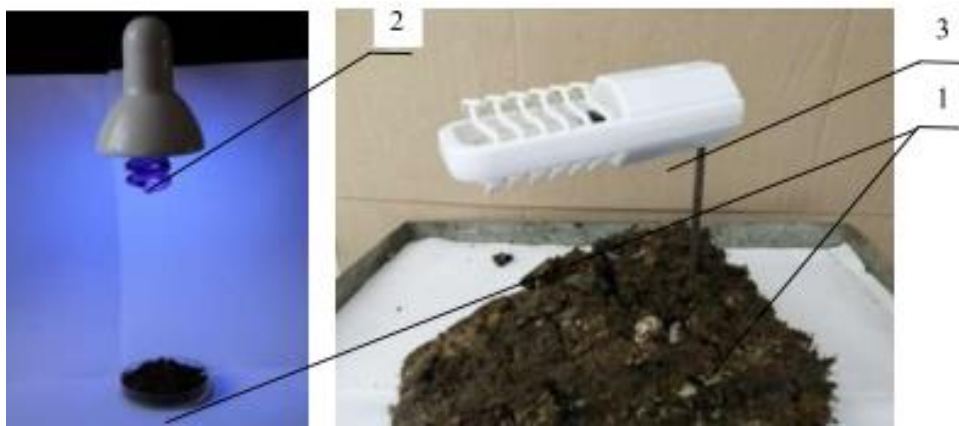


Рис. 2.3. Установа для зnezараження підстилкового посліду ультрафіолетовим опроміненням: 1 – зразки посліду, 2 – ультрафіолетова лампа Camelion L H26-FS/BLB/E27(UV-A, довжина хвилі випромінювання 315...400 нм); 3 – ультрафіолетовий опромінювач (UV-C, довжина хвилі випромінювання 253 нм)

Мікроскопічний аналіз якісного складу мікробіоти проводили в світлі на мікроскопі Leica 2500 з цифровою камерою DCM-500 та програмним забезпеченням ScorePhoto. Статистичну обробку даних проводили у програмному середовищі Microsoft Excel.

Визначення якісного та кількісного складу мікробіоти проводили культуральним методом, шляхом посіву 0,2 мл 3%-ної суспензії посліду на картопляно-глюкозне живильне середовище в чашки Петрі з наступним підрахунком вирослих колоній мікроорганізмів та його ідентифікацією [4, 7].

2.3 Методика дослідження процесу знезараження підстилкового посліду електричним полем постійного струму

Біореактор-електрообеззаражувач підстилкового гною та курячого посліду представлений на рис. 2.4. На майданчику зберігання послід повинен змішуватися з вуглеводами (подрібнена солома зернових та круп'яних культур, половиною, відходи зернових культур, торф) з метою доведення вологості до 50...60%. За такої вологості в органічній масі збережуться пори, які дозволять кращому насиченню повітрям, що інтенсифікує біопроеес розкладання органічної маси і температура різко підвищується до 60...65°C.

Конструкція біореактора-електрознежарувача посліду складається з корпусу 1, повітроводних труб 2, електродів для створення електричного поля постійного струму 3, компресора 4 для подачі повітря в органічну масу, джерела постійного струму 5, посліду 6, приладу контролю температури 7.

Біореактор-електрознежарувач посліду працює наступним чином. Послід вологістю 50...60% витримується три доби в буртах, потім завантажується вільною насипкою щільністю 0,6...0,7 т/м³ біореактор.



Рис. 2.4. Біореактор-електрознежарувач курячого посліду

На другу добу після завантаження в біореактор- електрознежарувач компресором повітря нагнітається в послід і створюється електричне поле постійного струму від джерела живлення STURM AW97I122. У посліді протягом

З діб протікає термофільний процес при температурі 65 °С, потім настає процес загасання, після дозрівання відбирали проби з отриманого органічного добрива та досліджували грибні колонії та мікробіоту.

Висновки по розділу.

Розроблено методику дослідження хвороботворної грибної мікрофлори, методику дослідження знезараження підстилкового гною і послід ультразвуковим опроміненням, знезараження підстилкового гною і послід ультрафіолетовим опроміненням, знезараження підстилкового гною та посліду електричним полем постійного струму.

3. Знезараження та переробку підстилкового гною та посліду в органічне добриво електрофізичними впливами рекомендується проводити в аераційних цехах, буртах та біореакторах-електрознежарувачах.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

3.1 Результати експериментальних досліджень процесу знезараження підстилкового гною та посліду ультразвуковим опроміненням

В ультразвукову ванну укладали порцію курячого посліду 2 кг, встановлювали режими роботи при встановлених температурах $t_{вст}$ рівних 22°C і 65°C з різним часом експозиції опромінення, а після обробки ультразвуковим випромінюванням досліджували на мікроскопі зміну об'єму грибною та бактеріальною мікробіоти посліду.

У процесі опромінення в ультразвуковій ванні при встановленій температурі 22°C характер нагрівання маси посліду представлений на графіку, зображеному на рис. 3.1.

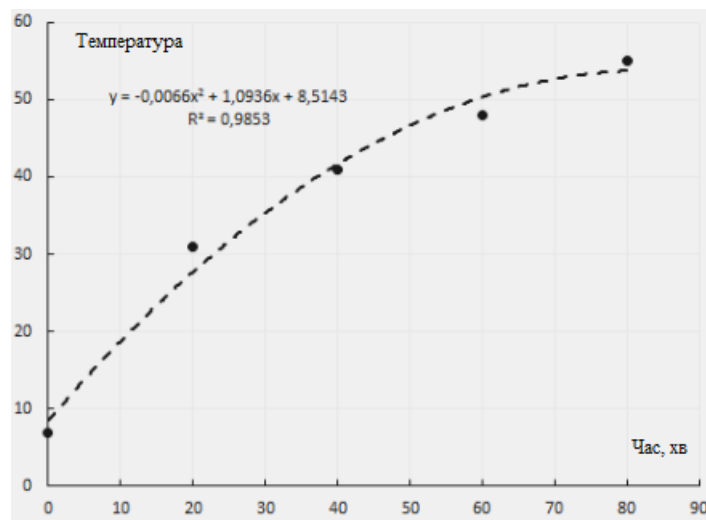


Рис. 3.1. Графічна залежність зміни температури посліду від часу при опроміненні ультразвуком ($f = 35$ кГц, $t_{вст} = 22^\circ\text{C}$).

Температура опромінення посліду, як видно з графіка, за 80 хвилин роботи лабораторної установки збільшується з 8°C до 55°C (на 47°C). Підвищення температури оброблюваної маси пояснюється тим, що при впливі ультразвукових хвиль на зразок органічної маси спостерігається рух частинок

посліду і за рахунок внутрішнього тертя температура зростає (кавітаційний процес).

На графіках рис. 3.2 та 3.3 представлені залежності зміни об'ємів грибної мікробіоти та кількості колоній бактеріальної мікробіоти від часу опромінення при встановленій температурі 22°C.

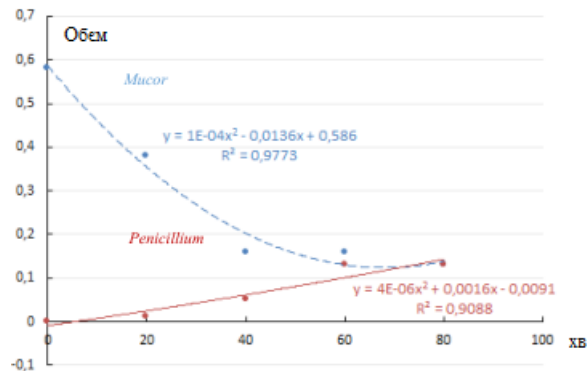


Рис. 3.2 Залежність зміни обсягу грибної мікробіоти від часу опромінення ($f = 35$ кГц, $t_{\text{вст}} = 22^\circ\text{C}$).

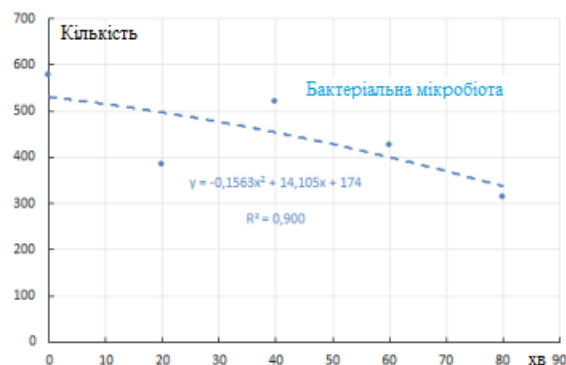


Рис. 3.3. Залежність кількості колоній бактеріальної мікробіоти від часу опромінення ($f = 35$ кГц, $t_{\text{вст}} = 2^\circ\text{C}$).

З графіка видно, що зі збільшенням часу ультразвукового опромінення об'єм мікробіоти Mucor знижується в 4,4 рази з 0,58 до 0,13 см³ а обсяг мікробіоти Penicillium зростає від 0 до 0,13 см³. Кількість колоній бактеріальної мікробіоти протягом 80 хвилин опромінення знижується на 200 одиниць. Це можна пояснити тим, що ультразвукові хвилі призводять до механічних пошкоджень клітин.

У процесі опромінення в ультразвуковій ванні при встановленій температурі 65°C характер нагрівання маси посліду представлений на графіку,

зображеному на рис. 3.4, де видно, що температура посліду через 20 хвилин доходить до 60°C і залишається незмінною протягом 60 хвилин експозиції.

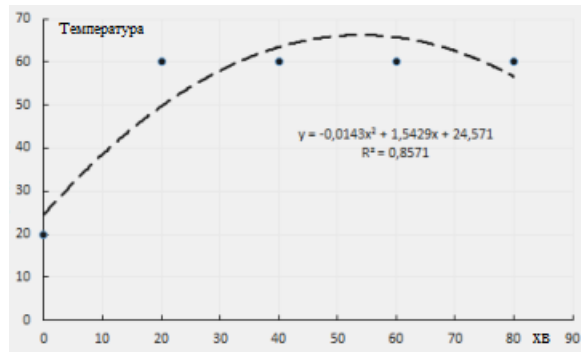


Рис. 3.4 Графічна залежність зміни температури посліду від часу ($f = 35$ кГц, $t_{вст} = 65^\circ\text{C}$)

На графіках рис. 3.5 та 3.6 представлені залежності зміни обсягів грибною мікробіоти та кількості колоній бактеріальної мікробіоти від часу опромінення при встановленій температурі 65°C.

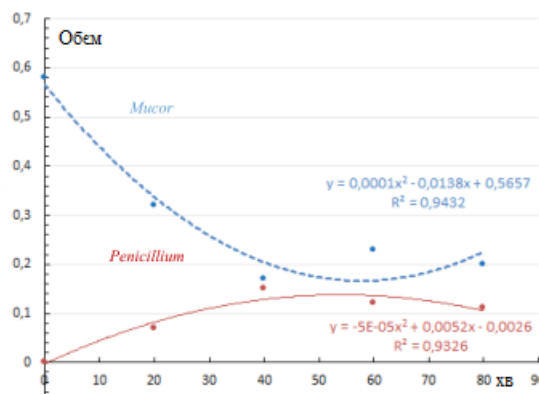


Рис. 3.5. Залежність зміни обсягу грибною мікробіоти від часу опромінення ($f = 35$ кГц, $t_{вст} = 6^\circ\text{C}$).

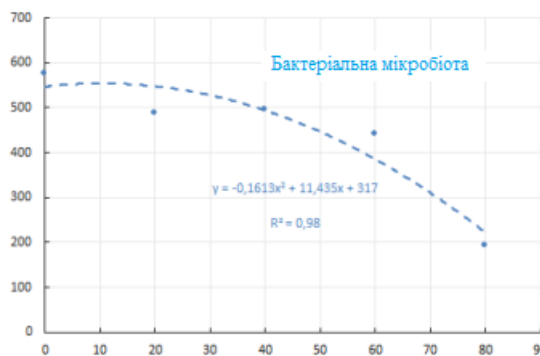


Рис. 3.6. Залежність кількості колоній бактеріальної мікробіоти від часу опромінення ($f = 35$ кГц, $t_{вст} = 65^\circ\text{C}$).

З графіка видно, що зі збільшенням часу ультразвукового опромінення об'єм грибної мікробіоти *Mucor* знижується протягом 60 хвилин з 0,6 до 0,16 см³ а потім незначно зростає до 0,2 см³. Об'єм грибної мікробіоти *Penicillium* протягом 60 хвилин збільшується з 0 до 0,14 см³, потім трохи знижується до 0,1 см³. Кількість колоній бактеріальної мікробіоти протягом 80 хвилин опромінення знижується на 383 одиниці. Таким чином можна зробити висновок, що ультразвукове опромінення курячого посліду є високоефективним та екологічно безпечним методом знезараження, що підтверджується результатами експериментів.

Питома потужність УЗД становила 70 кВт/м³.

3.2 Результати експериментальних досліджень процесу знезараження підстилкового гною та посліду ультрафіолетовим опроміненням

Результати досліджень обсягу грибних колоній у чашках Петрі після посіву суспензії свіжого курячого посліду представлені на рис. 3.7. З діаграми видно, що обсяг грибних колоній становить: *Mucor* - 4 мм³; *Penicillium* - 0,1 мм³; *Fusarium* - 0,13 мм³; а *Aspergillus* був відсутній.

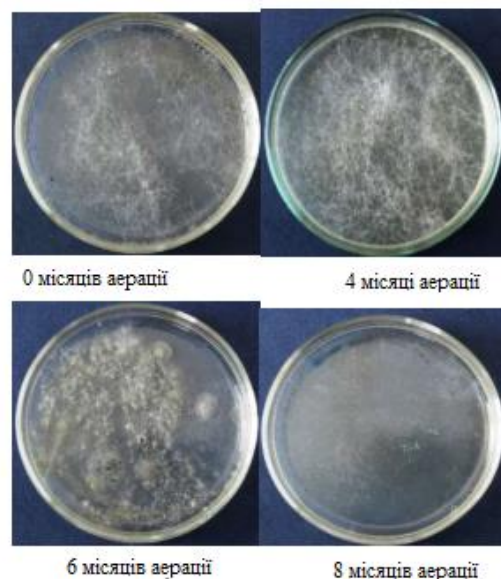


Рис. 3.7. Грибні колонії в чашці Петрі в процесі зміни часу пасивної аерації.

Результати досліджень свіжого курячого посліду на наявність грибної мікробіоти після знезараження методом ультрафіолетового опромінення представлені у графічній формі на рис. 3.8.

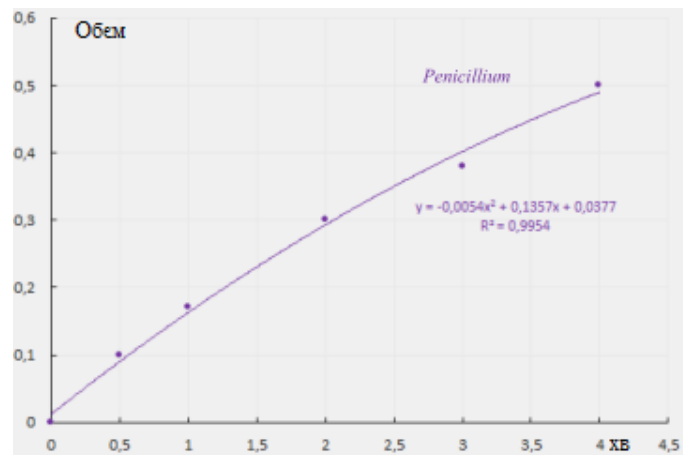


Рис. 3.8. Залежність об'єму грибної мікробіоти *Penicillium* від часу ультрафіолетового опромінення.

Результати досліджень впливу ультрафіолетового опромінення свіжого курячого посліду на кількість колоній бактеріальної мікробіоти представлені у графічній формі на рис. 3.9.

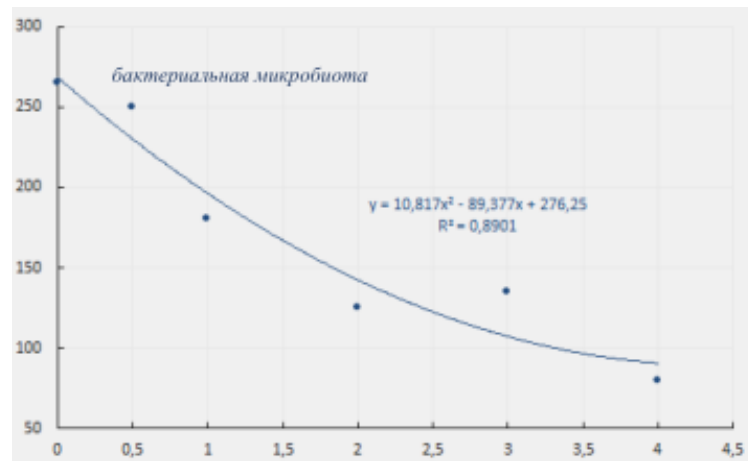


Рис. 3.9. Залежність кількості колоній бактеріальної мікробіоти від часу ультрафіолетового опромінення.

Обробка ультрафіолетовим опроміненням 4 години, потужністю лампи 0,13 кВт, відстань від джерела до посліду – 15 см, товщина шару – 10 мм.

Дослідження показали, що при дії ультрафіолетового опромінення на курячий послід патогенні гриби родів *Fusarium* і *Mucor* були повністю знищені, а об'єм грибної мікробіоти *Penicillium* незначно змінився з 0 до 0,5 мм³ протягом

чотирьох годин у зв'язку з придушенням розвитку антагоністів у субстраті. Кількість колоній бактеріальної мікробіоти у чашці Петрі знижується з 265 до 90 зі збільшенням часу ультрафіолетового опромінення до чотирьох годин.

Таким чином, можна зробити висновок, що ультрафіолетове опромінення курячого посліду є високоефективним та екологічно безпечним. методом знезараження, що підтверджується результатами експериментів.

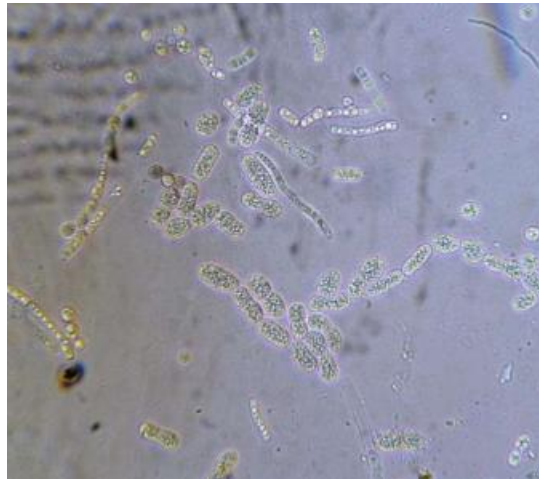


Рис. 3.10. Вид грибної мікробіоти в чашці Петрі (зображення з мікроскопа Leica DM 2500).

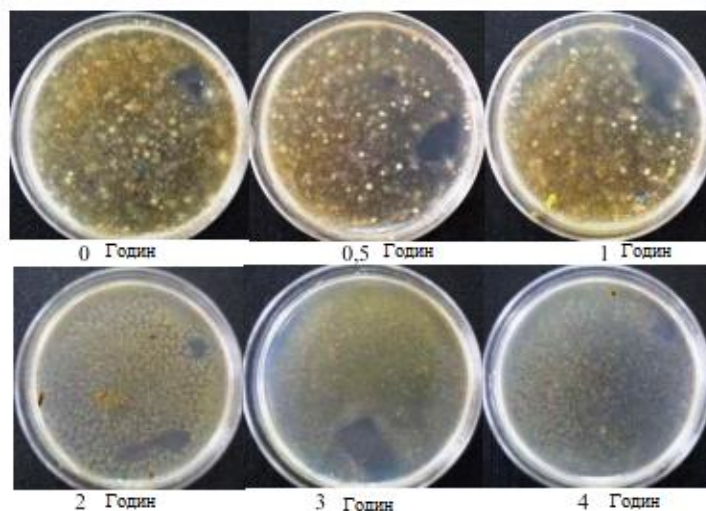


Рис. 3.11. Бактеріальна мікробіота у чашці Петрі в процесі зміни часу ультрафіолетового опромінення.

Обробка УФІ проводилася 0,5 години, потужність лампи 0,13 кВт, відстань від джерела до посліду – 15 см, товщина шару посліду змінювалась – 0...40 мм.

Питома потужність УФІ становила 32 кВт/м³.

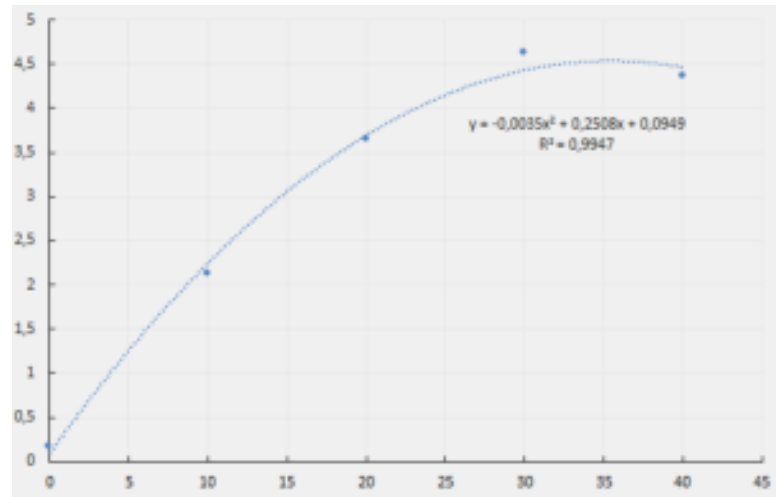


Рис. 3.12. Залежність зміни КОЕ бактеріальної мікробіоти при опроміненні різної товщини шару посліду.

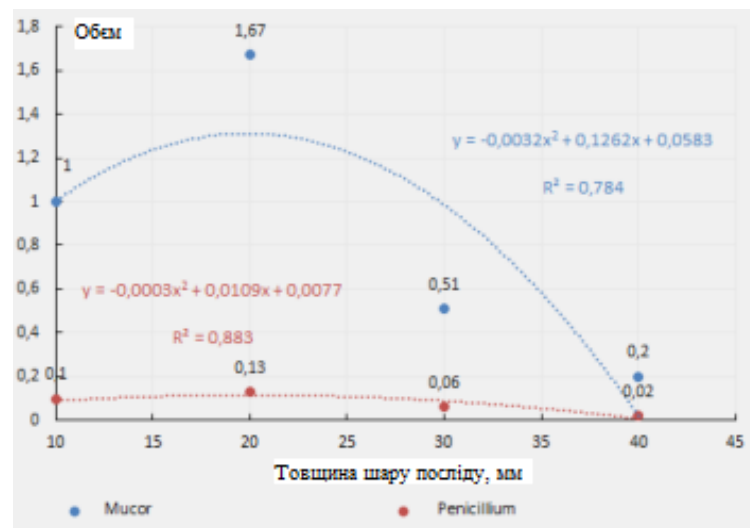


Рис. 3.13. Залежність зміни грибної мікробіоти при опроміненні різної товщини шару посліду.

3.3 Результати експериментальних досліджень процесу знезараження підстилкового гною та посліду електричним полем постійного струму

Дослідження процесу знезараження від грибних колоній проводили електричним полем на установці, представлений на рис. 3.14

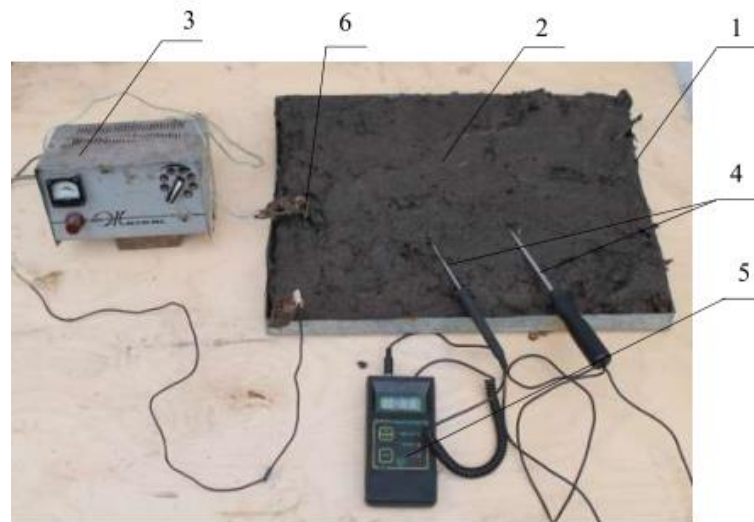


Рис. 3.15 Експериментальна установка для знезараження посліду в електричному полі: 1 – лист, 2 – курячий послід, 3 – джерело постійного струму, 4 – щупи, 5 – прилад контролю вологості та температури посліду, 6 – електрод.

У процесі активної аерації посліду в біореакторі створювалося електричне поле постійного струму з інтервалом обробки 15 хвилин. Для дослідження наявності грибних колоній відбиралися проби посліду до аерації і після впливу електричного поля при показниках постійного струму 1, 2, 3А. Наявність грибних колоній *Mucor*, *Bacillus* та *Xanthomonas* досліджували на мікроскопі Leica DM 2500, рис. 3.16.

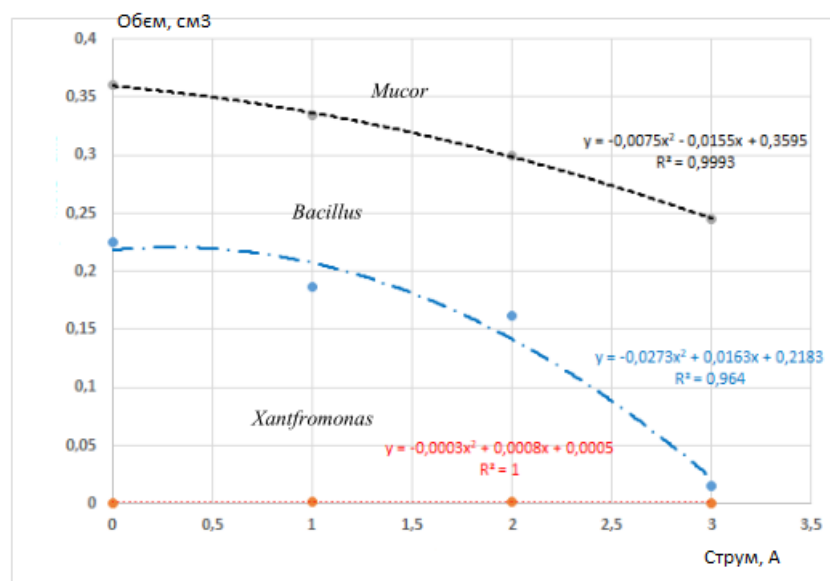


Рис. 3.16 Залежність впливу постійного електричного струму на колонії мікроорганізмів *Mucor*, *Bacillus*, *Xanthomonas*.

З графіка, представленого на рис. 2 видно, що при збільшенні постійного струму з 0 до 3А кількість грибкових колоній *Mucor* різко знижується з 0,36 до 0,245 см³. Внаслідок дослідження грибкових колоній *Vacillus* із збільшенням значень постійного струму до 3А спостерігається плавне зниження їхньої кількості з 0,225 до 0,015 см³.

Дослідження процесу знезараження від грибкових колоній проводили електричним полем на установці, рис. 3.17

Курячий послід поміщали на майданчик. Потім засовували електрод з плюсової клеми, до дека приєднували клему мінус, подавали струм на електроди протягом 10 хвилин. Після закінчення досліду відбирали 5 проб і визначали на мікроскопі вміст грибкових колоній.

Досліди проводили з п'ятьма повторностями, за отриманими результатами будували залежності.



Рис. 3.17 Експериментальна установка для знезараження посліду в електричному полі постійного струму (Вимір напруженості електричного поля та щільності потоку енергії при різних значеннях постійного струму). 1 – електрод, 2 – курячий послід, 3 – прилад контролю параметрів електричного поля (ПЗ-41); 4 – джерело постійного струму (AV97I122).

Вимірювання напруженості електричного поля та щільності потоку енергії виконували за допомогою приладу П-41.

Вимірювач П-41 призначений для вимірювання густини потоку енергії та середньоквадратичних значень напруженості електричного та магнітного полів у режимі безперервної генерації при проведенні контролю рівнів електромагнітного поля на відповідність вимог нормативних документів (рис. 3.18).



Рис. 3.18. Вимірювач рівнів електромагнітних випромінювань ПЗ-41.

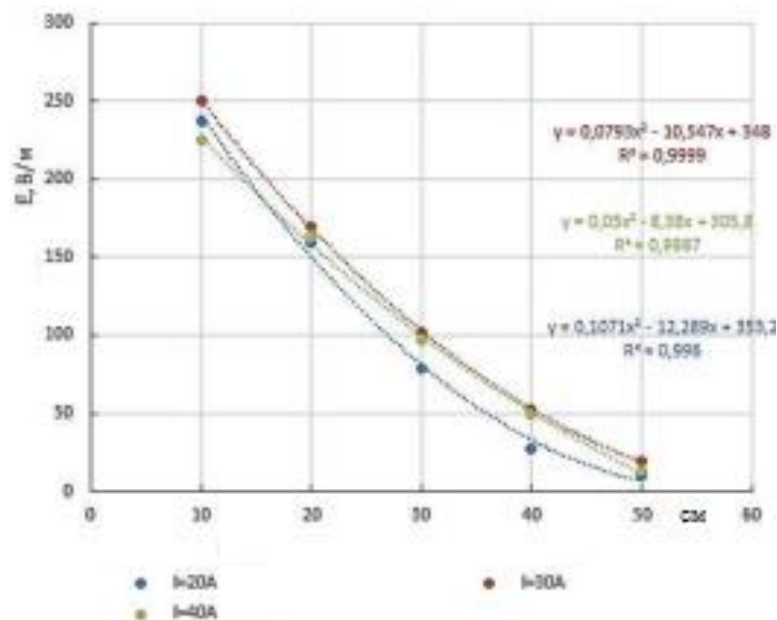


Рис. 3.19. Залежність напруженості електричного поля від відстані до одиночного електрода за різних значень постійного струму (без посліду).

Аналізуючи залежність, наведену на рис. 3.21 можна припустити, що максимальну напруженість електричного поля E (250 В/м) можна отримати тільки на відстані 10 см від електрода.

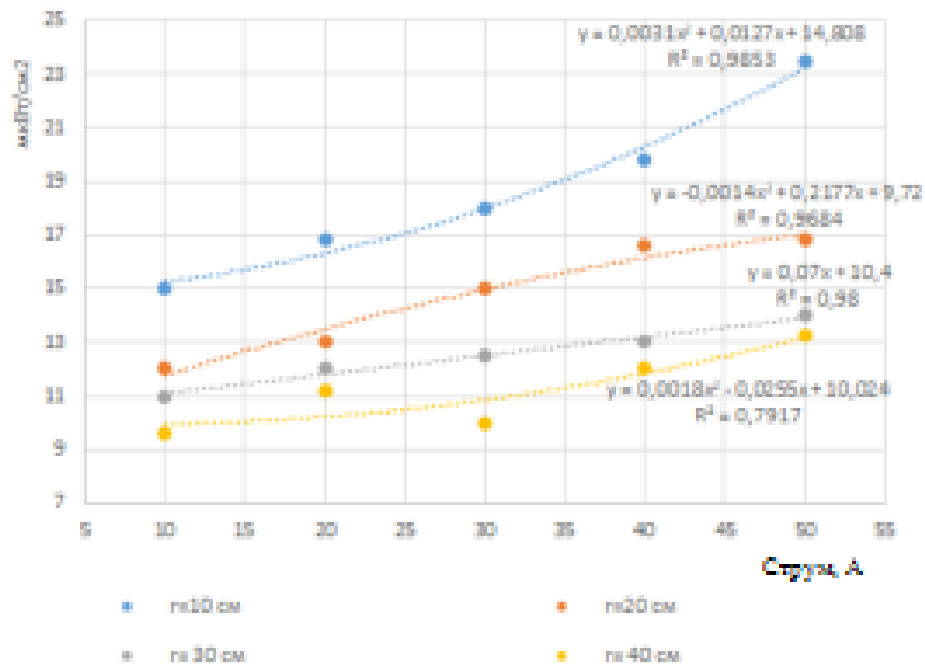


Рис. 3.20. Залежність щільності потоку енергії (ЩПЕ) значення постійного струму джерела живлення (при зміні відстані r від одиночного електрода).

Аналізуючи залежність, представлену на рис. 3.20 можна дійти висновку, що щільність потоку енергії (ЩПЕ), який розповсюджується від одиночного електрода у просторі досягає максимального значення 23 мкВт/см^2 ($r=10 \text{ см}$).

На рис. 3.21 представлена залежність кількості колонієутворюючих одиниць (КУО) від тривалості впливу при різних методах електрофізичного впливу на послід (ультразвукового, ультрафіолетового та електричного поля постійного струму). Аналізуючи залежності, представлені рис 3.21 можна зробити висновок, що при тривалості впливу від 100 до 180 хвилин відбувається зниження КУО мікроорганізмів до 0 при різних методах електрофізичного впливу на послід.

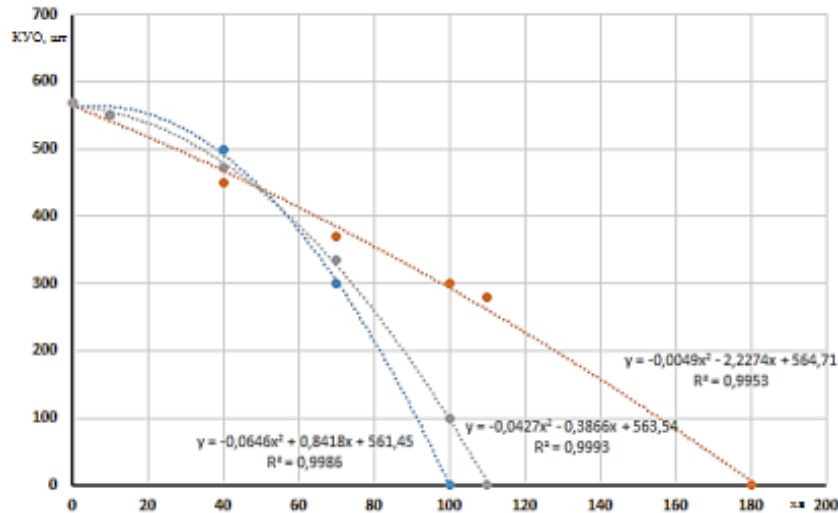


Рис. 3.21. Залежність кількості КУО від тривалості впливу за різних методів електрофізичного наслідку.

3.4 Розробка електрозnezаряджувального обладнання при отриманні органічного добрива.

В даний час є технології переробки та зnezарядження підстилкового гною та посліду в біореакторах та аераційних цехах. Під час будівництва такі технології вимагають значних капітальних витрат.

Тому ми пропонуємо маловитратну технологію переробки та зnezарядження, підстилкового гною, посліду у відкритих розбірних наземних траншеях. Наземна траншея із розбірних щитів шириною 2,5 метра, висотою 2 метри та довільної довжини. За один цикл переробки 135 тонн підстилкового гною та посліду в органічне добриво потрібна траншея 30 метрів.

Перед закладкою підстилкового гною, посліду на аерацію в траншею органічну масу необхідно довести до агротехнічних вимог з вологістю 50-60%, щільністю 0,6-0,7 т/м³ і фракційним складом 5-10 мм. Для подрібнення органічних відходів використовується розкидач-подрібнювач підстилкового гною та посліду. Після подрібнення та змішування органічна маса гноєрозкидувачем марки МГО-3 вільним насипом завантажується в наземну траншею щільністю 0,6...0,7 т/м³. Протягом трьох діб в органічній масі протікає

мезофільний процес і температура в масі доходить до $40..45^{\circ}\text{C}$. Потім в органічну масу вколюємо голки електроди аератора - знезаражувача (рис. 3.22). Насичуємо органічну масу повітрям, а електричним полем, що створюється електродами, органічну масу знезаражуємо від мікроорганізмів. В органічній масі після насичення киснем біопроцес інтенсифікується, і температура підвищується до 65°C протягом п'яти діб, а потім температура знижується і маса вивантажується із траншеї на дозрівання.

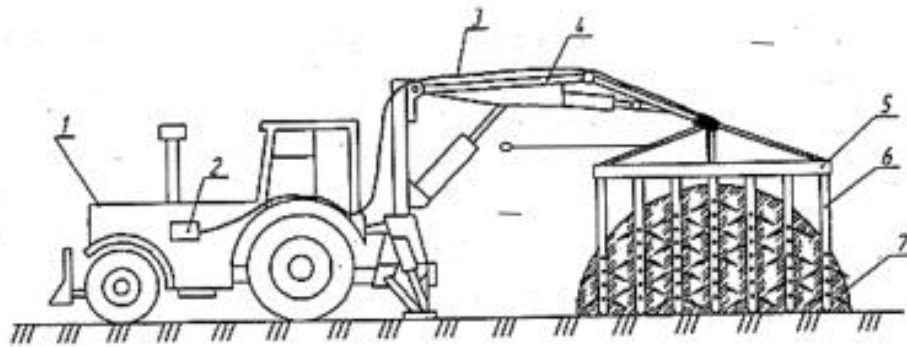


Рис. 3.22 Аератор-знезаражувач підстилкового гною, посліду у наземній траншеї: 1 – трактор; 2 – компресор; 3 – повітропровід; 4 – стріла; 5 – рама; 6 – труби-електроди для аерації; 7 – бурт; 8 – ізолятор, 9 – енергопідведення.

Аератор-знезаражувач посліду та інших сільськогосподарських відходів представляє розбірний короб 6, на підлозі встановлені повітропровідні труби 3 з отворами для подачі повітря в органічну масу 5, що подається вентиляторами 1, обладнані озонатором і нагрівається елементом 2, і електроди 7 для створення електричного поля в масі і ґрати 4 (рис. 3.33).

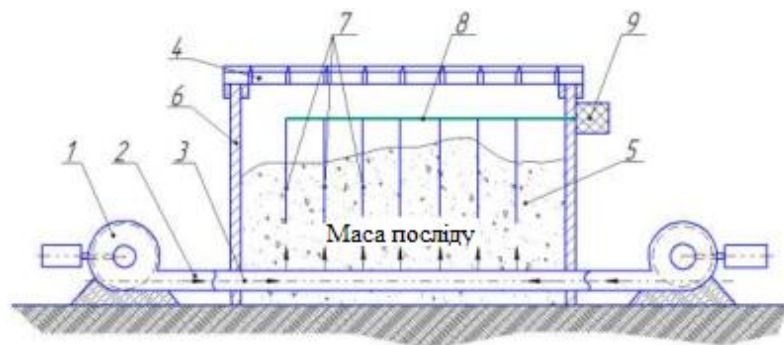


Рис. 3.23. Аератор-знезаражувач курячого посліду.

В аератор-зnezаражувач органічна маса завантажується з вологістю 55...60%, довжиною частинок 1...3 мм. Щільність 0,6-0,7 т/м³ створюється за рахунок прокидання органічної маси через решітку 4. Після подачі повітря та створення електричного поля протягом 5 діб виходить високоякісне екологічно чисте органічне добриво.

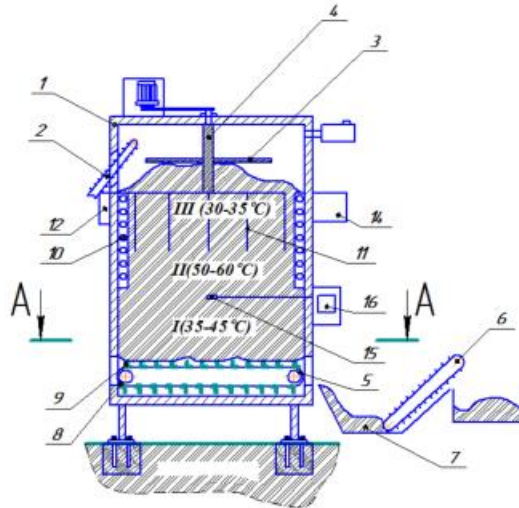


Рис. 3.24. Аераційний біореактор-зnezаражувач підстилкового гною.

Оригінальна конструкція аераційного біореактора-зnezаражувача підстилкового гною, курячого посліду та інших сільськогосподарських відходів для потокового способу приготування обмежувальних добрив представлена на рис. 3.24. Він складається з теплоізоляційного корпусу 1, скребкового завантажувального транспортера 2, у верхній частині корпусу встановлено пристрій для вирівнювання органічної маси 4, вивантажувального транспортера 6, повітропровідних труб 10, електродів для створення електричного поля в органічній масі 11.

Подрібнений гній завантажується в аератор вологістю 50...60%, потім подається повітря через повітропровідні труби. В органічній масі протікає термофільний процес протягом 5 діб. У процесі аерації матеріал, що компостується, повільно переміщається зверху вниз за рахунок гравітаційних сил і проходить через електричне поле, створюване електродами і зnezаражується від грибних колоній, мікробі от, хвороботворних бактерій і гельмінтів.

Висновки по розділу

При впливі ультрафіолетового опромінення на курячий послід патогенні гриби *Fusarium* і *Mucor* повністю знищуються, а об'єм грибною мікробіоти *Penicillium* змінюється несуттєво з 0 до 0,5 мм³ протягом чотирьох годин у зв'язку з придушенням розвитку антагоністів у субстраті. Кількість колоній бактеріальної мікробіоти у чашці Петрі знижується з 265 до 90 із збільшенням часу ультрафіолетового опромінення до чотирьох годин.

При переробці посліду у високоякісне органічне добриво методом активної аерації в біореакторах необхідно знезараження електричним полем постійного струму. Проведені дослідження показали, що грибні колонії *Mucor* та *Bacillus* знижуються на 43 та 20% відповідно.

Можна констатувати факт, що при тривалості впливу від 100 до 180 хвилин відбувається зниження КУО мікроорганізмів до 0 при різних методах електрофізичного впливу на послід.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Поведені дослідження мікробіологічного складу підстилкового посліду показали, що присутні в ньому окремі види патогенної мікрофлори (*Mucor*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*) свідчать про його екологічну небезпеку (III клас) та необхідність відповідного способу знезараження для запобігання накопиченню хвороботворних мікроорганізмів у навколишньому середовищі

Розроблено перспективні способи та електрофізичні засоби для знезараження посліду:

- аератор-електробеззаражувач курячого посліду, призначений для знезараження вихідної сировини в електричному полі, створеному пластинами-електродами при вивантаженні органічної маси з аераційного транспортера в бургт на дозрівання;

- аератор-електробеззаражувач підстилкового гною та посліду, призначений для виготовлення екологічно чистих органічних добрив, що досягається знезараженням вихідної сировини за допомогою електричного поля, створеного електродами в органічній масі аератора;

Встановлено, що за 80 хвилин ультразвукового впливу ($f = 35$ кГц, $t_{\text{вст}} = 22^\circ\text{C}$) об'єм грибною мікробіоти *Mucor* знижується в 4 рази з $0,5$ до $0,1$ см³, у той час як об'єм мікробіоти *Penicillium* зростає з 0 до $0,13$ см³ а кількість колоній бактеріальної мікробіоти за 80 хвилин впливу знижується з 550 до 300 , та його подальше зниження зі збільшенням температури середовища до 65°C та часу впливу до 100 хвилин.

Встановлено, що при впливі ультрафіолетового опромінення (UV-C, довжина хвилі випромінювання 253 нм) на послід патогенні гриби пологів *Fusarium* і *Mucor* були повністю знищені, а об'єм грибною мікробіоти *Penicillium* трохи змінився з 0 до $0,5$ мм³. За 4 години впливу ультрафіолетового опромінення кількість колоній бактеріальної мікробіоти знижується із 265 до 90 .

Встановлено, що при збільшенні постійного струму I з 0 до значення $3A$ ($U=12V$) об'єм грибних колоній *Mucor* знижується з $0,36$ до $0,245$ cm^3 грибних колоній *Bacillus* - з $0,225$ до $0,015$ cm^3 грибних колоній *Xanthomonas* на рівні $0,001$ cm^3 .

Розроблені технології знезараження посліду дозволяють отримувати якісне екологічно чисте органічне добриво з класом загрози IV-V. При тривалості дії 100, 110 та 180 хвилин відбувається повне знищення мікроорганізмів при різних способах електрофізичного впливу на послід (ультразвуковому, електричному та ультрафіолетовому).

До додаткових позитивних характеристик запропонованих технологій можна віднести простоту технологічного процесу, невисокі витрати та короткий цикл виробництва (скорочення часу знезараження з 8 діб до 2...3 годин). Отримане високоефективне, економічно доступне, екологічно чисте зручне у використанні гранульоване добриво може бути застосоване у сільському господарстві для відновлення родючості ґрунтів та підвищення врожайності рослин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bewick W. Hand book of organic wasteconversion. TrinityCollege. University of Cambridge. Van Nostr and Reinhold Environmental Engineering Series. Copyright by Litton Educational Publishing, Inc. 1980. 72 p.
2. Дерев'янку Д. А., Савченко Д. В. Результати експериментальних досліджень процесу знезараження підстилкового гною та посліду електричним полем постійного струм. Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2022» 20 травня 2022 року Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 7-9.
3. Дерев'янку Д. А., Савченко Д. В. Аналіз існуючих технологій переробки підстилкового гною/посліду. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022.С. 281-285.
4. Савченко Д. В. Методика досліджень процесу знезараження підстилкового посліду. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 280-281.
5. Гарзанов А.А. Биотопливо из подстилочного навоза. *Аграрна техніка*. 2018. №2. С. 77-79.
6. Лысенко В.П. Экологические проблемы птицефабрик и роль биотехнологий в переработке органических отходов. *Птица и птицепродукты*. 2017. №5. С. 16-22.
7. Aneja V. P., Chauhan J. P., Walker J. T. Characterization of atmospheric ammonia emissions from swine waste storage and treatment lagoons. *Journal of*

geophysical research. 2009. Vol. 105, № D9. 2000. P.11535-115457. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.493.4808&rep=rep1&type=pdf>.

8. Crery D. F. Hobbs P. J. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes. *Environ. Qual.* 2001. 30. №2. P. 345-355.

9. Makara, A. & Kowalskib, Z. Selection of pig manure management strategies: Case study of Polish farms. *Journal of Cleaner Production*, 2018. P. 187 - 195. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.095>.

10. Бойко І.Г. *Машини та обладнання для тваринництва. Том 2.* Харків: ХНТУСГ, 2006. 279 с.

11. Ревенко І.І., Хмельовський В.С., Заболотько О.О. та ін. *Машини і обладнання для тваринництва. Підручник.* Ніжин: Національний університет біоресурсів і природокористування України; ПП Лисенко М.М., 2017. 304 с.

12. Кулик М.Ф., Засуха Т.В., Величко І.М. *Традиційні і нетрадиційні мінерали в тваринництві.* Київ : Видавництво «Сільгоспосвіта», 1995, 248 с.

13. Блюм Я.Б., Гелетуца Г.Г. *Новітні технології біоенергоконверсії.* Київ : «Аграр. Медіа Груп». 2010. 326 с.

14. Побігун А. М. *Метанове бродіння як спосіб утилізації відходів тваринництва.* Науковий вісник ТДАТУ. С. 7-12.

15. Kwasny J. *Disposal methods and treatment of wastes from piggeries.* 2016. [Електронний ресурс] : Режим доступу до ресурсу: <https://www.researchgate.net/publication/303974258>.

16. Носко Б. С. *Шляхи підвищення родючості ґрунтів у сучасних умовах сільськогосподарського виробництва.* Київ : Аграрна наука, 1999. 110 с.

17. Месель-Веселяк В. Я. *Ефективність енергетичного самозабезпечення сільського господарства.* Економіка АПК. 2009. № 2. С. 10–14.