

Міністерство освіти і науки України
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Павленко Сергій Іванович

УДК 631.861:631.171

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ БАРАБАННО-
ЛОПАТЕВИХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КОМПОСТІВ**

Спеціальність 05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

РЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2024

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису
Роботу виконано в Національному університеті біоресурсів і
природокористування України

Офіційні опоненти:

Захист відбудеться “__” _____ 2024 року о __ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.06 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15.

Автореферат та дисертація розміщені за адресою в мережі Internet <https://nubip.edu.ua/node/16031>

Автореферат розіслано “__” _____ 2024 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

І. Л. Роговський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Світові тенденції в аграрному виробництві вказують на суттєві зміни у технологічному використанні органічної сировини рослинництва і тваринництва (соломи, гною, посліду) для одержання органічних добрив. Основні виклики: підвищення соціальних вимог до екологічного стану оточуючого середовища (запахи, забруднення водоймищ, ґрунтів), відновлення родючості ґрунтів, виробництво сировини для отримання органічної продукції (овочів, грибів). За статистичними даними в період з 1990 року по 2022 рік, внесення органічних добрив на 1 га загальної площі ріллі в Україні зменшилось в 8-9 разів (з 6,20 т/га до 0,69 т/га). В період з 2007 по 2022 рік на 1 га загальної ріллі приходилось приблизно 0,28 т/га. Причина зниження – зменшення поголів'я великої рогатої худоби та свиней. Покращення ефективності отримання і якості виробництва органічних добрив при суттєвому зменшенні поголів'я тварин можливе за рахунок виробництва компостів на основі суміші наявного гною або посліду з рослинною біомасою, які виробляються за скороченими термінами аеробної ферментації.

Метою прискореного компостування є керування процесами ферментації-розкладання органічної речовини, зменшення втрати поживних речовин на основі підтримання раціональних умов життєдіяльності мікроорганізмів, що забезпечує зменшення часу готовності компосту. Позитивним результатом заходів є зменшення екологічних ризиків, покращення стану навколишнього середовища, ресурсозбереження за рахунок використання нетоварної сировини рослинництва і переробної галузі, зменшення площ для зберігання і накопичення гною та посліду, покращення якості добрив.

Механізоване компостування, що проводилось у 70–80 роки минулого століття на основі енергонасичених технічних систем, було економічно доцільним за рахунок додаткової продукції рослинництва. У сучасних умовах дефіциту фінансових, матеріальних та сировинних ресурсних використання цих технологій і технічних засобів у багатьох випадках призводить до збільшення собівартості продукції та економічної недоцільності виконання процесу керованого компостування, оскільки витрати на виробництво не покриваються прибавкою врожайності від їх використання. У результаті виникає проблемна ситуація, що полягає, з однієї сторони, в необхідності збільшення обсягів внесення органічних добрив для відновлення родючості ґрунтів за умови фактичного значного зменшення виходу гною. З іншої, невідповідність існуючих технологій і технічних засобів соціальним вимогам та економічній доцільності. Аналіз світового досвіду показує, що ефективне виробництво компостів, частково, забезпечує вирішення і цієї проблеми. Однак технічні засоби для механізації компостування, що випускаються за кордоном, мають призначення, виконання та конструкцію, адаптація яких до господарських умов в Україні потребує системного техніко-технологічного обґрунтування.

Тому існує актуальна наукова проблема подальшого підвищення ефективності ресурсозберігаючих механізованих технологій для виробництва компостів на базі обґрунтування технологічних систем та конструктивно-режимних параметрів машин та обладнання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що складають основу роботи, виконувались у Національному університеті біоресурсів і природокористування України у відповідності з науковою тематикою

№110/64-ф «Розробити механіко-технологічні основи ресурсозберігаючого органічного виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив в агроекосистемах з підвищеним рівнем енергетичної автономності» (Держ. реєстр. 0114U000660).

Наукова гіпотеза: обґрунтування раціональних параметрів технічних засобів на основі барабано-лопатових робочих органів для компостування сумішей гною і посліду з рослинною біомасою, дозволить підвищити ефективність виробництва компостів.

Мета дослідження: підвищення ефективності виробництва компостів із органічної сировини агроекосистем шляхом розробки і впровадження, науково обґрунтованих комплексних технологічних і технічних рішень в умовах аеробної ферментації.

Задачі дослідження:

- удосконалити склад комплексу технічних засобів механізованого процесу прискореної ферментації суміші гною (посліду) з рослинною біомасою;
- встановити закономірності зміни фізико-механічних і хімічних властивостей органічної сировини агроекосистем при виробництві компостів;
- теоретично обґрунтувати і експериментально дослідити фізико-математичну модель процесу механізованого компостування органічної сировини агроекосистем технічними засобами;
- провести експериментальні дослідження умов біотермічних процесів компостування суміші;
- обґрунтувати вибір засобів технічного забезпечення виробництва компостів із органічної сировини агроекосистем і експериментально визначити раціональні конструкційні варіанти пристрою для подрібнення і змішування;
- експериментально визначити раціональні конструктивно-режимні параметри робочих органів технічних засобів за умови забезпечення якісних і енергетичних показників;
- обґрунтувати техніко-технологічну модель механізованого виробництва компостів з органічної сировини агроекосистем, врахувавши якісні, кількісні та енергетичні показники;
- розробити рекомендації виробництва компостів з органічної сировини агроекосистем та провести їх економічну оцінку.

Об'єкт дослідження: механізований технологічний процес прискореної аеробної ферментації суміші гною (посліду) і рослинної біомаси для виробництва компостів і технічні засоби для його реалізації.

Предмет дослідження: закономірності взаємодії робочих органів машин і обладнання з сировиною та компонентами суміші із урахуванням фізико-механічних, теплофізичних та агрохімічних властивостей.

Методи дослідження. В основу теоретичних досліджень покладено системний аналіз, математичне і чисельне моделювання на базі програмного забезпечення STAR-CCM+. Дослідження базувалися на теорії складних систем, теорії тепломасопереносу, законах збереження маси і енергії. При експериментальних дослідженнях використані методики планування експериментів, індивідуальні методики, стандартні вимірювальні прилади, оригінальні лабораторні установки і програми Microsoft Excel і Wolfram Cloud для обліку і статистичної обробки одержаних даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше:

– отримано закономірності, які описують вплив взаємного розташування барабанів по висоті, кінематичного показника режиму та коефіцієнта завантаження барабанно-лопатевих робочих органів на однорідність розподілу компонентів суміші у сформованому бурті та показник його структурності;

– отримано закономірності, які описують вплив кінематичного показника режиму однобарабанного лопатевого робочого органу у двох варіантах розміщення сформованого бурта по відношенню до нього (на рівні з вихідним буртом і вище вихідного бурта) на висоту сформованого бурта і однорідність розподілу компонентів суміші;

– отримано закономірності, які описують вплив кінематичного показника режиму двобарабанного лопатевого робочого на висоту сформованого бурта і однорідність розподілу компонентів суміші;

– отримано залежність для визначення потужності взаємодії лопаті робочого органу аератора із компостною сумішшю у залежності від фізико-механічних показників суміші (коефіцієнта зчеплення, нормального миттєвого напруження опору і кута внутрішнього тертя) та ширини і висоти елементарної частки суміші, яка відокремлюється лопаттю барабана;

– отримано експериментальні залежності зміни висоти сформованого бурта, однорідності і показника структурності суміші при роботі барабанно-лопатевих робочих органів від їх частоти обертання, лінійної швидкості переміщення та кількості барабанів і лопатей;

– експериментально визначено споживану потужність та питому енергоємність роботи барабанно-лопатевих робочих органів при формуванні буртів від їх частоти обертання, лінійної швидкості переміщення та кількості барабанів і лопатей.

Практичне значення одержаних результатів. Проведені дослідження є основною для вдосконалення існуючих і створення нових технологічних механізованих способів і технічних засобів виробництва компостів із органічної сировини агроєкосистем. Одержані раціональні конструктивно-технологічні параметри робочих органів технічних засобів забезпечують зменшення енергозатрат на підготовку, змішування та розпушування компостних сумішей, формування і аерацію буртів. Обґрунтовано спосіб вибору технічних засобів виробництва компостів, що зменшує експлуатаційні витрати та кількість машин та обладнання.

Впровадження і виробнича перевірка модернізованого розкидача органічних добрив ПРТ-10 проводились у господарствах і підприємствах, що виробляють компости для власного використання і зовнішньої реалізації, а саме СТОВ «Гетьман» Нікопольського району і СТОВ «Держинівське» Солонянського району Дніпропетровської обл. в період 2015–2018 р. Технологія виробництва компостів із безпідстилкового посліду з використанням аератора-змішувача АЗК-2 реалізована в ТОВ «Високі врожаї» Диканського району Полтавської області. Науково-технічна документація на виготовлення навісного пристрою до розкидача органічних добрив передана ТОВ «Агромех-плюс» (м. Дніпро), ТОВ «Оріхівсільмаш» (м. Оріхів, Запорізької обл.). Науково-технічна документація щодо конструкції аератора-змішувача передана ТОВ «Біоентех» (м. Запоріжжя), елементи якої реалізовані в конструкції аератора змішувача компостів АЗК-2.

Технічні рішення, що лягли в основу досліджень, захищені 24 патентами України на корисну модель.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача полягає в формуванні мети і задач досліджень, розробці методики і аналізі результатів.

Здобувачем особисто проведено аналіз способів і засобів виробництва компостів із органічної речовини агроєкосистем, обґрунтовано технологічні операції і вибір технічних засобів для їх виконання, аргументовано раціональні параметри барабанно-лопатевого роторного робочого органу і встановлено зв'язок із фізико-механічними властивостями сировини і готового продукту, запропоновано методика визначення фракційного складу вологої сировини, експериментально підтверджено конструктивно-режимні та техніко-економічні параметри роботи технічних засобів з робочими органами барабанно-лопатевого типу, проведено господарські випробування розроблених механізованих технологій і технічних засобів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації в період з 2011–2019 рр. викладались у доповідях на наукових та науково-практичних конференціях в Україні та за кордоном. Окремі матеріали дисертації доповідались і отримали підтримку на таких наукових конференціях: Сучасні проблеми землеробської механіки (Дніпропетровськ, 2013), Інноваційні проекти в галузі технічного сервісу машин (Харків 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018); Природне агровиробництво в Україні: проблеми становлення, перспективи розвитку (Дніпропетровськ, 2015); Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій (Львів, 2015); Сучасні проблеми землеробської механіки (Суми, 2016, Київ, 2018, 2023); Технічний прогрес в сільськогосподарському виробництві (Глеваха, 2014, 2016, 2017, 2018, 2023); *Solul si in agricultura contemporana* (Кишинів, 2017); Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки (Кропивницький, 2017); Біоенергетичні системи в агропромисловому виробництві (Житомир, 2018).

Публікації. Результати наукових досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковано у 83 друкованих працях, у тому числі 32 одноосібні. Підготовлено і опубліковано матеріали монографії та підручника, 3 статті надруковано в журналах, що входять до міжнародної науко-метричної бази даних Scopus, 41 стаття – у наукових фахових виданнях, отримано 24 патенти на корисні моделі України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел з 291 найменувань. Дисертацію викладено на 579 сторінках комп'ютерного тексту (основна частина – 396 сторінок), містить 73 таблиці та 140 рисунків..

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Сучасний стан проблеми і вибір напрямку досліджень» проведено моніторинг обсягів гною та посліду в Україні, аналіз біоенергетичного потенціалу процесів компостування та обґрунтовано перспективність визначення раціональних технологічних параметрів процесу компостування. Проведено аналіз основних способів компостування. У результаті аналізу характеристик компостної суміші встановлено її хімічний склад, відносну вологість, коефіцієнти зовнішнього і внутрішнього тертя, липкість, кути природнього нахилу, щільність, повзучість та міцність. Встановлено, що необхідно провести додаткові дослідження за окремими фізико-механічними, теплофізичними, агрохімічними властивостями компостних сумішей і закономірностями їх впливу на вибір та роботу машин і обладнання.

Аналіз вітчизняних технічних засобів компостування показав, що для забезпечення умов переробки та технологічних задач використовуються засоби загального призначення і застосовується сільськогосподарська техніка інших процесів, операцій, що не завжди економічно доцільно через високий кошторис

виробництва і низьку якість одержаного компосту. Аналіз закордонних технічних засобів прискореного компостування встановив перспективність мобільних аераторів-змішувачів – самохідних, причіпних, навісних, як базового обладнання в технології прискореної ферментації в аеробних умовах на основі формування та аерації буртів, розташованих на ґрунтових (тимчасових) або з твердим покриттям (стаціонарних) майданчиках. Основні вимоги до технічних засобів механізованого прискореного компостування – гнучке пристосування обладнання для якісного виконання подрібнення і змішування сировини незалежно від її складу і вологості та збереження формату бурту у відповідності з необхідною продуктивністю процесу компостування, що забезпечує низькі агрохімічні втрати поживних речовин.

За два останні десятиліття серед вчених, що розвивали різні напрямки досліджень по виробництву компостів слід відмітити роботи М. К. Линника, Г. А. Голуба, І. А. Шевченко, В.Ф.Дідуха, М.М.Сінчука, Ю.Г.Вожика О. О. Ляшенко, В. В. Висовня, І. П. Вітруха, В. О. Кудрі та інших.

Однак наукова проблема підвищення ефективності ресурсозберігаючих механізованих технологій для виробництва компостів на базі обґрунтування технологічних систем та конструктивно-режимних параметрів машин і обладнання продовжує залишатися актуальною.

У другому розділі «Системні дослідження механізованого процесу виробництва компостів» наведено методика розрахунку збалансованої компостної суміші за поживними біогенними речовинами, обґрунтовано основні механіко-технологічні умови твердофазного компостування, представлені результати пошукових досліджень в технології механізованого компостування, розроблено техніко-технологічну модель механізованого виробництва компостів, проведено розрахунок часового циклу і продуктивності прискореного механізованого компостування та виконано його енергетичну оцінку. Розроблено систему машин для виробництва первинного компосту і обґрунтовано конструктивно-технологічні рішення технічних засобів для її реалізації.

У результаті досліджень обґрунтовано структурну модель виробництва компосту шляхом збалансування вологості і відношення С:N. Результат розрахунку збалансованої компостної суміші за поживними біогенними речовинами, яка дозволяє оцінити масу води для зволоження компостної суміші і масу підсушеного рециркуляційного компосту при визначеному співвідношенню С:N, наведено на рис. 1.

Встановлено, що механізовані процеси прискореної ферментації включають подрібнення сировини, внесення і розподіл компонентів суміші – механічне змішування, створення формату середовища для збереження тепла і поповнення суміші киснем. Вибір механіко-технологічної моделі виробництва компостів визначається стратегічною метою, інвестиційними і експлуатаційними складовими необхідних матеріальних і фінансових коштів. Критерій ефективності вибраної механіко-технологічної моделі слугують приведені затрати або енергоємність технологічного циклу виробництва компосту від отримання сировини до його використання за умови забезпечення санітарно-ветеринарних дозволів і термінів виконання операцій. Переваги мають моделі з мінімальними значеннями:

$$\begin{cases} \Pi(M_{\text{сан.-вет.}} \rightarrow \text{norm}, T \rightarrow T_{\text{norm}}, t \rightarrow \text{min}) \rightarrow \text{min}, \\ E(M_{\text{сан.-вет.}} \rightarrow \text{norm}, T \rightarrow T_{\text{norm}}, t \rightarrow \text{min}) \rightarrow \text{min}, \end{cases} \quad (1)$$

де $M_{\text{сан.-вет.}}$ – матриця умов забезпечення санітарно-ветеринарних дозволів; T – температура суміші; t – термін виконання операцій; Π – приведені витрати; E – енергетичні витрати; norm – нормовані значення; min – мінімальне значення.

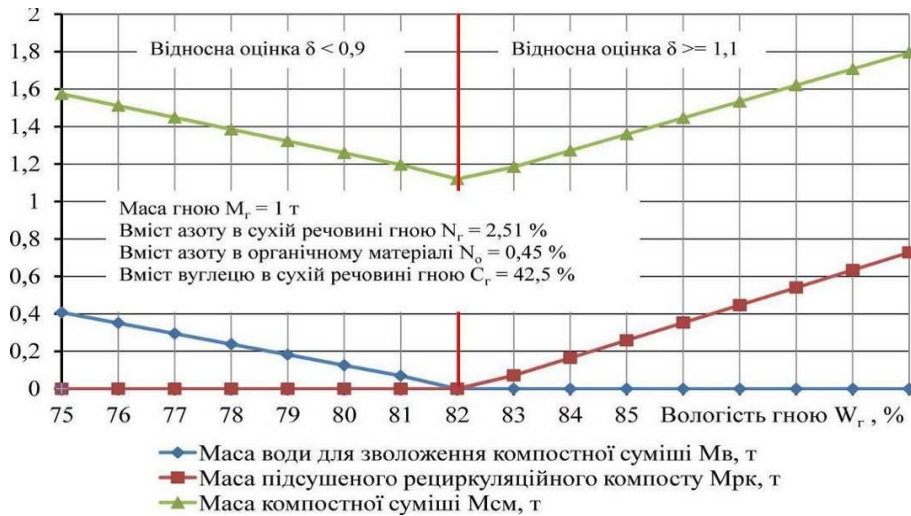
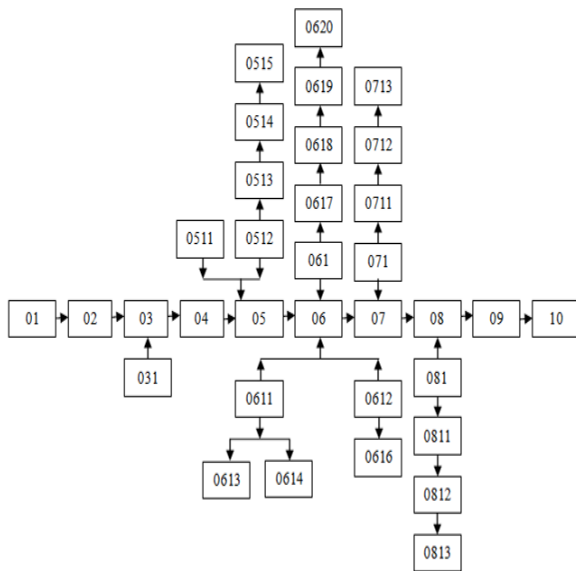


Рисунок 1 – Залежності маси води для зволоження компостної суміші і маси підсушеного рециркуляційного компосту від вологості гною

В результаті пошукових досліджень встановлено, що недоліком в роботі аератора в механізованій технології виробництва компостів є необхідність попередньої (первинної) підготовки бурту по висоті і ширині захвату робочого вікна та їх погодження із швидкісними режимами роботи енергозасобу. Використання додаткових технічних засобів для покращення технологічності роботи аератора приводить до збільшення експлуатаційних затрат. Окрім цього встановлено, що використання конструкції розкидача органічних добрив для виробництва компостів має технологічні переваги: формування висоти і ширини бурту в відповідності з технологічними вимогами, наприклад, до 1,5–2,0 м і технічними потужностями енергетичного засобу; накопичення компонентів органічної суміші і доставка за маршрутом. Високі експлуатаційні затрати через незначну продуктивність засобів завантаження і низьку якість підготовки сировини до ферментації в аеробних умовах відкритого середовища – основні недоліки їх використання в технології механізованого виробництва компостів.

Розроблено універсальну схему (рис. 2) проектування технологічних операцій механізованих робіт, яка дозволяє зменшити витрати та собівартість виробництва компостів шляхом раціональних прийомів виконання технологічних операцій технічними засобами підготовки суміші до ферментації. Це дозволяє виключити ряд навантажувально-розвантажувальних операцій та непродуктивних переміщень, і, як наслідок, знизити енергоємність машин і кількість обладнання для їх виконання.

Розроблено техніко-технологічну модель механізованого процесу прискореної ферментації органічної сировини на відкритих майданчиках, яка містить поетапний розрахунок часового циклу (рис. 3), продуктивності (рис. 4), енерговитрат основних механізованих операцій і відповідних умов для транспортування, змішування, подрібнення, аерації компостної суміші, внесення води або волого-поглинальних компонентів та формування буртів. Вибір продуктивності технічних засобів аерації залежить від необхідної технологічної періодичності і обсягів переробки.



01 – видалення гною; 02 – навантаження; 03 – транспортування; 031 – внесення волого-поглинального матеріалу на майданчик; 04 – карантування; 05 – формування бурта; 051 – змішування компонентів гноєвої суміші; 0511 – підготовка компонентів гноєвої суміші; 0512 – дозування компонентів; 0513 – транспортування компонентів; 0514 – завантаження компонентів; 0515 – розвантаження компонентів; 06 – контроль за процесами компостування; 061 – перелопачування; 0611 – зволоження; 0612 – внесення інокулянтів; 0613 – заправка при зволоженні; 0614 – транспортування; 0615 – заправка при внесенні інокулянтів; 0616 – транспортування; 0617 – укриття буртів; 0618 – навантаження матеріалу; 0619 – транспортування; 0620 – нанесення матеріалу на гурт; 07 – внесення хімічних елементів; 08 – стабілізація; 081 – укрупнення буртів; 0811 – навантаження; 0812 – переміщення до певного місця зберігання; 09 – навантаження; 10 – внесення.

Рисунок 2 – Блок схема операційного забезпечення механізованого процесу компостування органічної сировини на відкритих майданчиках

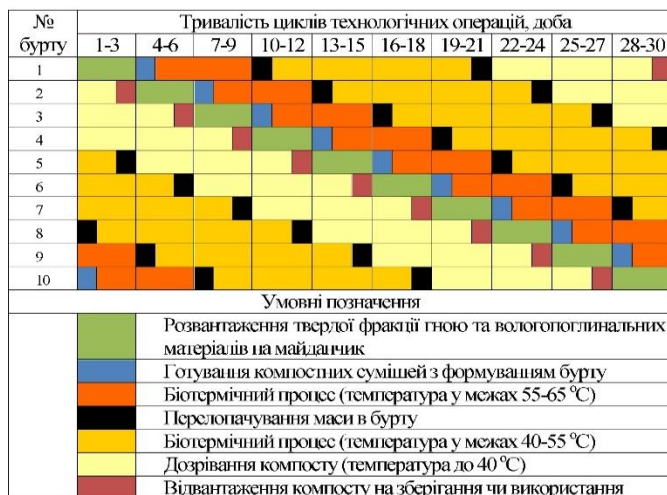


Рисунок 3 – Циклограма проведення операцій на відкритому майданчику

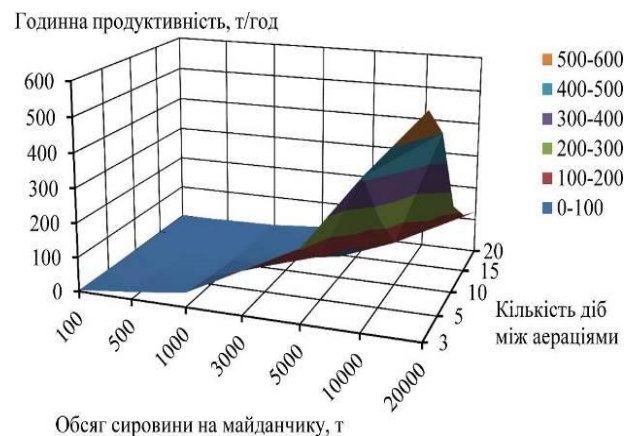


Рисунок 4 – Продуктивність механізованого процесу аерації

Для проведення експериментальних досліджень ферментації компостної суміші у якості майданчика використано закритий ангар з бетонним покриттям, розміром 90×18 м. Свіжий (вивантажений з приміщень) підстилковий послід на основі лушпиння соняшнику розвантажувався буртами на підготовлений майданчик з використанням доопрацьованого розкидача органічних добрив ПРТ-10. Схеми закладки натурних буртів представлена на рис. 5.

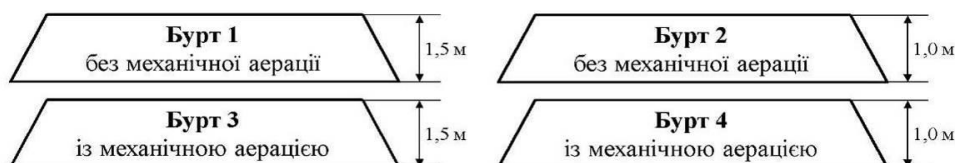


Рисунок 5 – Схеми закладки натурних буртів

У процесі досліджень бурт 3 і 4 підлягали механічній аерації, часові інтервали яких представлені на рис. 6.

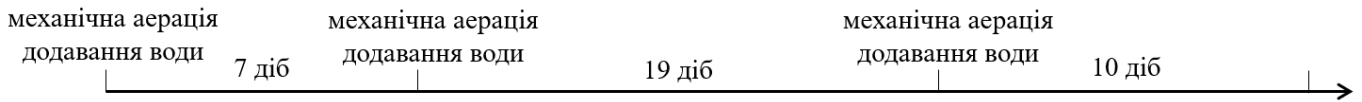


Рисунок 6 – Часові інтервали технологічних операцій під час процесу ферментації

У процесі дослідження визначалися наступні параметри технологічного процесу прискореної ферментації підстилкового посліду на основі лушпиння соняшнику: геометричні розміри буртів і їх вертикальне просідання; об'ємна вага, маса, вологість, хімічний склад (NPK), фракційний склад компостної суміші в бурті; динаміка температур у поперечному розрізі бурта; температурне поле бурта і однорідність розподілу компонентів компостної суміші в бурті. Всі вимірювання проводилися за фактом виконання технологічної операції згідно встановленого часового інтервалу у триразовій повторності.

Вимірювання геометричних розмірів буртів і їх вертикального просідання проводилося з використанням рулетки (50 м) і лінійки (1,5 м) із абсолютною похибкою вимірювання 1 мм. Визначалися висота, ширина і довжина сформованих буртів. Вертикальне просідання буртів вимірювалося шляхом встановлення лабораторної штанги у трьох місцях за їх довжиною із подальшою фіксацією положення верхньої точки бурта. Об'ємна вага визначалася шляхом визначення відношення маси нетто компостної суміші до об'єму зазначеної ємності (об'єм ємності складав 0,01 м³). Маса визначалася вагами електронними ручними із абсолютною похибкою вимірювання 0,001 кг. Вимірювання маси компостної суміші у бурті проводилося з використанням ваг Rexant із абсолютною похибкою вимірювання 1 кг. Вимірювання вологості компостної суміші проводилося із використанням відкаліброваного вологоміра ВЛК-01. Калібрування вологоміра проводилося у лабораторії Державної установи «Держгрунтоохорона» (Дніпровська філія) шляхом порівняння із результатами хімічного аналізу згідно стандартної методики згідно ГОСТ 26713-85, що базується на визначенні втрати вологи з маси наважки (проби) компосту шляхом висушування її до постійної маси. Абсолютна похибка вимірювання вологоміра ВЛК-01 для компостної суміші складала 0,2 %. Визначення хімічного складу NPK проводилася згідно стандартних методик. Визначення масового вмісту золи проводилося згідно з ГОСТ 26714-85, масового вмісту органічної речовини і вуглецю проводилося згідно з ГОСТ 27980-88, масового вмісту загального азоту проводилося згідно з ГОСТ 26715-85, масового вмісту амонійного азоту проводилося згідно з ГОСТ 26716-85, співвідношення вуглецю і азоту (C:N) проводилося згідно з ГОСТ 27980-88. Динаміка температур у буртах досліджувалася з використанням персонального комп'ютера, до якого підключався електронний термометр ТМ-32/Н-5Т із системою температурних зондів на основі датчиків температури DS18B20. Також температура в буртах визначалася із використанням індивідуальних температурних зондів на основі мультиметрів DT838 із приєднаною термопарою. Абсолютна похибка вимірювань термометра ТМ-32/Н-5Т складала 0,1 С, а похибка вимірювань мультиметра DT838 із приєднаною термопарою – 0,5 С. Моніторинг за температурним режимом з використання електронного термометра ТМ-32/Н-5Т проводився кожні 10 хв., при цьому дані записувалися на персональний комп'ютер у відповідний файл бази даних. У свою чергу дані з мультиметрів DT838 фіксувалися 4 рази на добу і записувалися у журнал спостережень. Температурне поле поверхні або розрізу буртів визначалося з використанням тепловізора Testo-875, який дозволяє проводити аналіз температурних полів із абсолютною похибкою вимірювання

0,01°C. Із використанням додаткового програмного забезпечення Testo IRSoft визначалося максимальне, мінімальне і середнє значення температурного поля; будувалися гістограми і графіки розподілу температур за визначеною площею і лінією температурного поля.

У результаті експериментальних *досліджень процесів ферментації суміші* одержані математичні залежності, що описують зміну хімічного складу компосту щодо азоту, фосфору і калію. Результати показують підвищення значень складу N, P, K в сумішах при активних способах аерації.

Порівняльний аналіз показників хімічного складу сировини, обробленої механізованими способами, і необробленої, показав, що вміст поживних речовин зростає, що пов'язано зі стимулюванням мікробіологічних процесів, сорбцією речовин і збереженням хімічних форм, що створюють рухомі складові, здатні для поглинання рослинами. Відносне зниження маси (за рахунок окислення вуглецю) при зберіганні вмісту поживних речовин покращує логістичні показники і продуктивність машино-тракторних агрегатів при внесенні органічних добрив.

Встановлено (рис. 7), що механічне розпушування і аерація забезпечує ріст внутрішніх температур (7 точок виміру по висоті бурту $H = 1,5$ м) до максимальної температури 65–71 °С і до 50–58 °С при висоті бурту $H_2 = 1,0$ на 2–3 день після укладання бурту. За 15–17 діб температура складає до 50 °С, що не відповідає термофільному режиму життєдіяльності бактерій і процеси поступово переходять в мезофільний температурний режим – до 40 °С. Виявлено, що до кінця періоду спостереження (до 36 доби) внутрішня температура в бурті №1 ($H = 1,5$ м) складала 39–45 °С, а в нижніх шарах до 30 °С. в бурті №2 ($H = 1,0$ м) в відповідні часові періоди температура становила на 5–8 °С менше. Зміна температури оточуючого середовища упродовж доби становила від 10 до 25 °С за час спостережень суттєво не впливала на внутрішню температуру в бурті. У бурті № 3 з механічним розпушуванням і додаванням води температура підвищувалась до 61–65 °С ($H = 1,5$ м) на 2–3 день по всіх 7 точках виміру, знижувались на 3–5 °С і стабільно трималась упродовж спостережень.

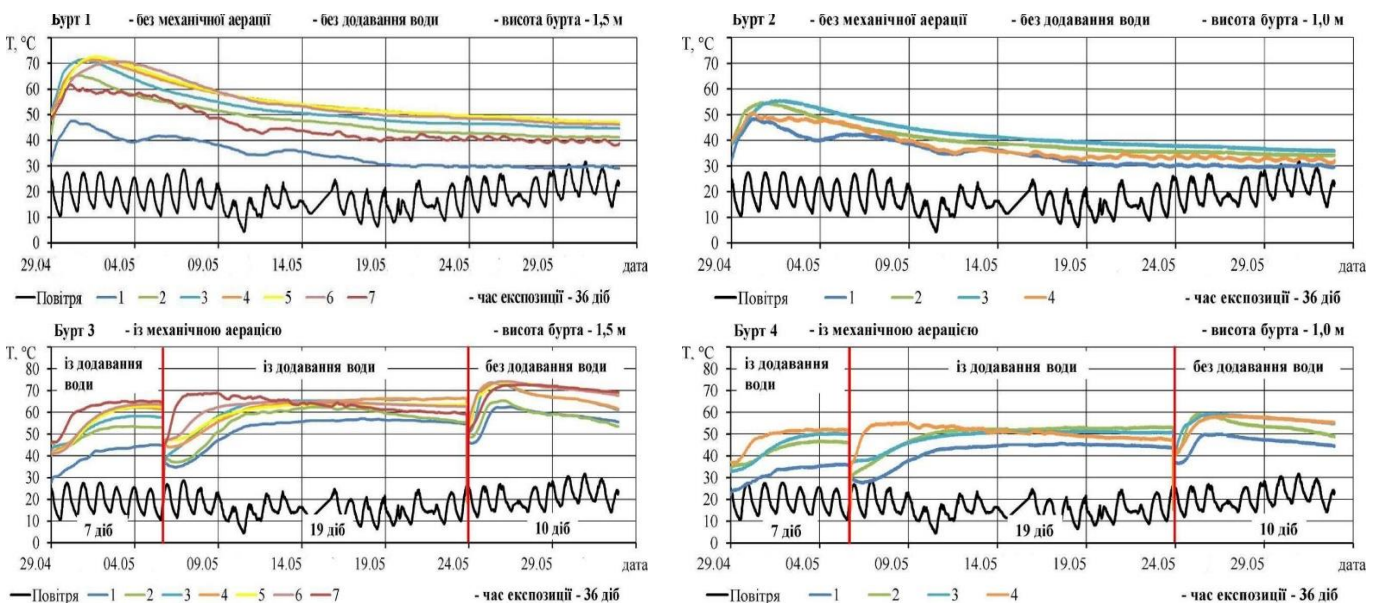


Рисунок 7 – Динаміка температурного поля контрольних і експериментальних буртів з додатковою аерацією

Розпушування компосту без додавання рідини на 20 добу показало

підвищення температури до 70–72 °С з поступовим затуханням термічних процесів на 10 добу і зниженням температури до 50 °С. У бурті № 4 (при $H = 1,0$ м) і аналогічними обробками як і в бурті № 3, термічні процеси на 5–10 °С нижчі. При аерації температура компосту зменшувалася до 38–44 °С. У результаті експериментальних досліджень встановлено, що за період спостереження на буртах без обробки (36 діб) вага бурту №1 ($H = 1,5$ м) зменшилась на 20 % (вологість сировини зменшилась на 5 %). У буртах з додаванням води, вага бурту № 3 і бурту № 4 змінювалась від кількості внесеної води, що приводило до збільшення вологості сировини. У процесі ферментації енергія від діяльності мікроорганізмів витрачається на випаровування води, що забезпечує менші втрати органічної речовини в обробленій сировині у порівнянні з необробленою: з початкового вмісту органіки 47–50 % до 32–35 % в необробленій сировині проти 40–41 % в обробленій.

У результаті експериментальних досліджень процесів ферментації встановлено, що змінилась структура обробленого компосту: дрібні і пиловидні частини під дією вологи і температури перетворились в агрегатне середовище часток від 5 до 10 мм. Встановлено, що зменшення експлуатаційних витрат на виробництво компостів, кількості задіяних засобів, підвищення ефективності використання аераторів-змішувачів, можливо на основі поєднання технологічних операцій підготовки сировини за допомогою технічних пристроїв базового обладнання: навантажувальних і транспортно-розвантажувальних агрегатів. Базовими робочими органами, що використовуються на всіх технічних засобах, є ротаційні барабанно-лопатеві і робочі органи (рис. 8), які слугують предметом подальшого дослідження по подрібненню, змішуванню та форматуванню бурта сировини.

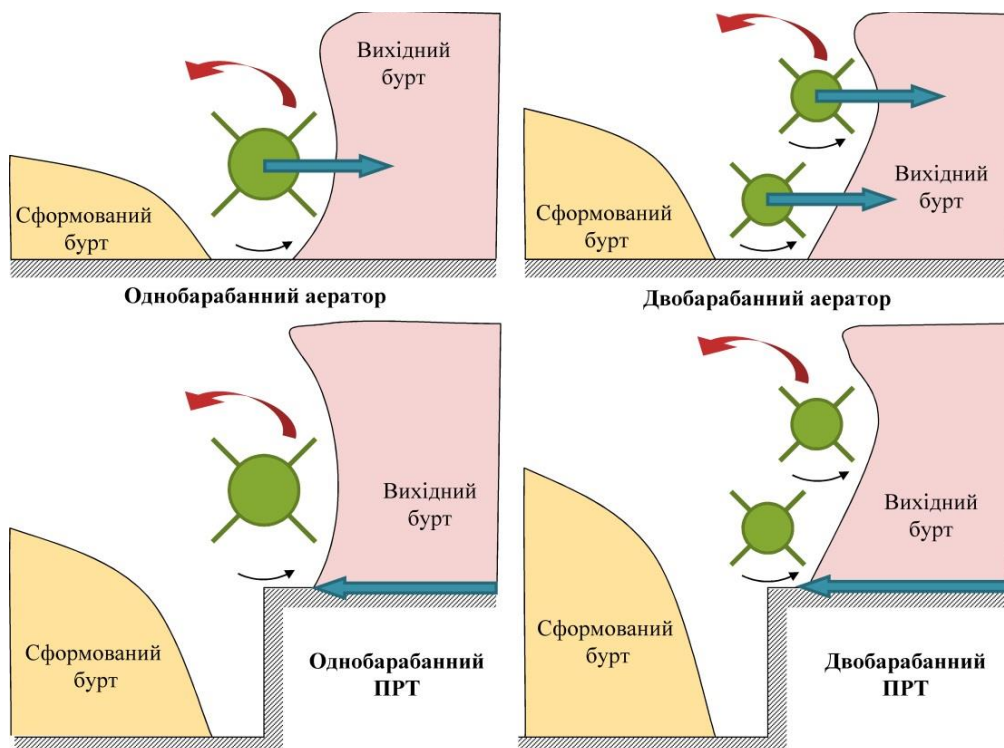


Рисунок 8 – Схеми роботи роторних барабанно-лопатевих пристроїв подрібнення, змішування і форматування бурту

У третьому розділі «Теоретичні дослідження механізованого процесу компостування органічної сировини» досліджено процес формування бурта, подрібнення і змішування компонентів органічної суміші при її механічній аерації

барабанно-лопатевиими робочими органами різних типів.

Розроблено математичну модель процесу роботи барабанно-лопатевого робочого органу, яка функціонально встановлює зв'язок між параметрами пристрою (кількістю лопатей, кутовою швидкістю, площею стружки, куту нахилу лопаті робочого органу) та висотою буртів компосту.

Одержані залежності щодо визначення *маси відокремлюваної стружки* можуть бути прийняті до уваги і використані під час визначення конструктивних і кінематичних параметрів робочих органів (рис. 9):

$$m = \frac{\pi v D_B}{n_L \omega} b_L \gamma (1 - \cos \omega t) \sin \zeta, \quad (2)$$

де R – радіус кола, який описує різальна кромка лопаті, м; m ; n_L – кількість розташованих лопатей на барабані, шт.; ω – кутова швидкість розпушувального барабана, c^{-1} ; b_L – ширина лопаті робочого органу, м; γ – щільність матеріалу, $кг/м^3$; t – час, с; ζ – кут нахилу лопаті робочого органу.

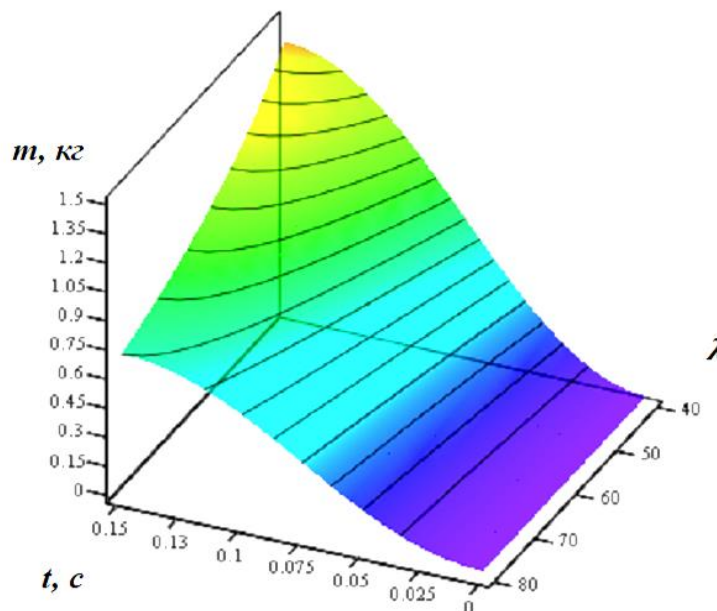


Рисунок 9 – Зміна маси відокремлюваної стружки у часі в залежності від кінематичного показника λ

У випадку, коли висота барабана дорівнює висоті бурта, або менша за неї і не враховується обвалювання компосту на барабан, маса компосту на лопаті барабана аератора-змішувача визначається конструкційними параметрами, а саме діаметром барабана та шириною лопатей, технологічними параметрами – щільністю компосту та кінематичним показником режиму роботи барабана, а також кутом повороту лопатей барабана в компості. При діаметрі барабана 0,3 м, 6-ти лопатях у поперечному перерізі барабана, ширині лопаті 0,07 м, щільності компосту 500 кг/м^3 та швидкості руху аератора-змішувача 0,1 м/с, збільшення величини кінематичного показника режиму роботи барабана аератора-змішувача від 60 до 120 за рахунок зміни кутової швидкості барабана призводить до зменшення маси компосту на лопатях барабана при їх повороті на 180° практично у два рази.

Для дослідження процесу формування бурту органічної суміші під час її механічній аерації двобарабанним робочим органом розглянуто розрахункову схему, яка представлена на рис. 10. Кожен з барабанів має відповідні конструктивно-режимні параметри: зовнішній і внутрішній радіуси R , r ; кутову

швидкість обертання лопаті робочого органу ω ; висоту установки барабана h ; горизонтальна відстань між барабанами Δl . Для нижнього барабана використовується позначення «'», а для верхнього – «''». Вихідний компост знаходиться на висоті $(h' - R')$, що імітує його подачу з транспортеру.

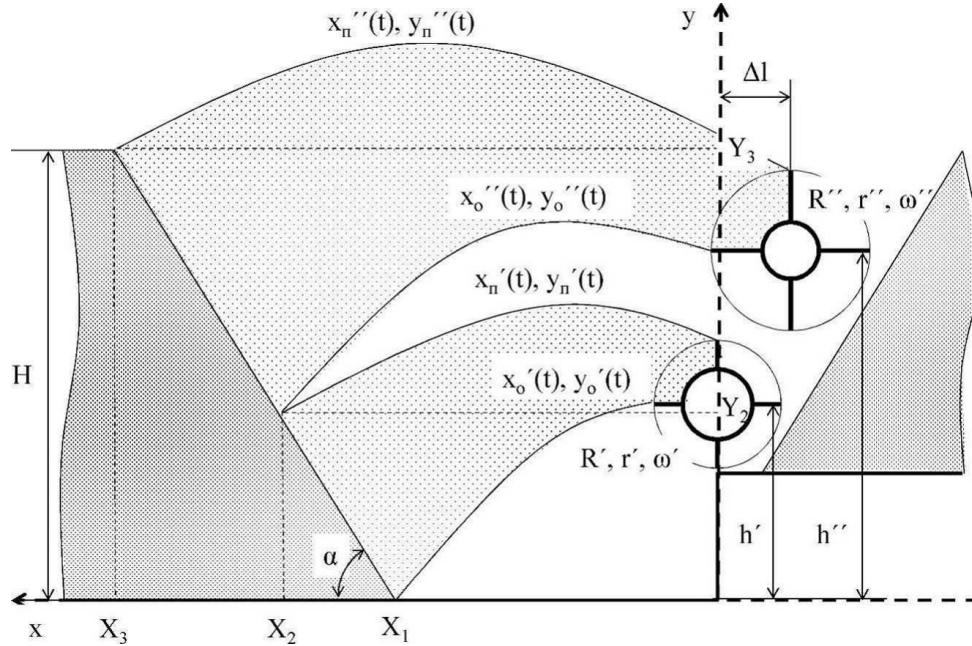


Рисунок 10 – Розрахункова схема процесу формування бурту органічної суміші при її механічній аерації двобарабаним робочим органом

Згідно проведених попередніх теоретичних досліджень формування бурта органічної суміші при її механічній аерації однобарабаним робочим органом узагальнене рівняння **траєкторії польоту часток при роботі двобарабанного робочого органу**. Так траєкторія польоту першої і останньої порції матеріалу з нижнього і верхнього барабана можна записати у вигляді

$$\begin{cases}
 x(t) = -mA_1 e^{-6\eta\pi^3\sqrt{3m/(4\pi\rho_k)}t} / (6\eta\pi^3\sqrt{3m/(4\pi\rho_k)}) + A_2 - \Delta l, \\
 y(t) = -m(gt + B_1 e^{-6\eta\pi^3\sqrt{3m/(4\pi\rho_k)}t}) / (6\eta\pi^3\sqrt{3m/(4\pi\rho_k)}) + B_2 + h. \\
 A_{n1} = R\omega \sin \varphi_0, \\
 A_{n2} = mR\omega \sin \varphi_0 / (6\eta\pi^3\sqrt{3m/(4\pi\rho_k)}) - R \cos \varphi_0, \\
 B_{n1} = gm / (6\eta\pi^3\sqrt{3m/(4\pi\rho_k)}) + R\omega \cos \varphi_0, \\
 B_{n2} = gm^2 / (6\eta\pi^3\sqrt{3m/(4\pi\rho_k)})^2 + R\omega \cos \varphi_0 / (6\eta\pi^3\sqrt{3m/(4\pi\rho_k)}) + R \sin \varphi_0 + h. \\
 A_{o1} = \sqrt{(\dot{\rho})^2 + (\omega R)^2} \sin(\Delta\phi + \phi_0 - \arctg(\dot{\rho}/(\omega R))), \\
 A_{o2} = -R \cos(\Delta\phi + \phi_0) + m\sqrt{(\dot{\rho})^2 + (\omega R)^2} \times \\
 \times \sin(\Delta\phi + \phi_0 - \arctg(\dot{\rho}/(\omega R))) / (6\eta\pi^3\sqrt{3m/(4\pi\rho_k)}), \\
 B_{o1} = gm / (6\eta\pi^3\sqrt{3m/(4\pi\rho_k)}) + \sqrt{(\dot{\rho})^2 + (\omega R)^2} \cos(\Delta\phi + \phi_0 - \arctg(\dot{\rho}/(\omega R))), \\
 B_{o2} = gm^2 / (6\eta\pi^3\sqrt{3m/(4\pi\rho_k)})^2 + \sqrt{(\dot{\rho})^2 + (\omega R)^2} \cos(\Delta\phi + \phi_0 - \arctg(\dot{\rho}/(\omega R))) \div \\
 \div 6\eta\pi^3\sqrt{3m/(4\pi\rho_k)} + R \sin(\varphi_0 + \Delta\phi) + h.
 \end{cases} \quad (3)$$

де m – маса частки компосту (2), кг; η – динамічна в'язкість середовища, Н с/м²; ρ_k – щільність компосту, кг/м³; t – час, с; Δl – горизонтальна відстань між робочими органами, м; g – прискорення вільного падіння, м/с²; h – відстань між робочими органами і віссю Ox , м; φ_0 – початковий кут повороту лопаті; ω – кутова швидкість обертання робочого органа, с⁻¹; ρ – координата переміщення частки компосту, м:

$$\begin{aligned} \rho = & \left(\frac{(R - 0,5d_E)\Psi_1}{\Psi_1 - \Psi_2} + \frac{g}{2(\Psi_1 - \Psi_2)} \left(\frac{(f+1)\Psi_1}{(-2\omega^2 + fk_1\omega)} - \frac{(f-1)\omega}{2(2f\omega^2)} \right) \cos(\varphi_0) + \right. \\ & \left. + \frac{g}{2(\Psi_1 - \Psi_2)} \left(\frac{(f-1)\Psi_1}{(2f\omega^2)} + \frac{(f+1)\omega}{(-2\omega^2 + fk_1\omega)} \right) \sin(\varphi_0) \right) \exp(\Psi_1 t) + \\ & + \left(\frac{(R - 0,5d_E)\Psi_2}{\Psi_2 - \Psi_1} + \frac{g}{2(\Psi_2 - \Psi_1)} \left(\frac{(f+1)\Psi_2}{(-2\omega^2 + fk_1\omega)} - \frac{(f-1)\omega}{2(2f\omega^2)} \right) \cos(\varphi_0) + \right. \\ & \left. + \frac{g}{2(\Psi_2 - \Psi_1)} \left(\frac{(f-1)\Psi_2}{(2f\omega^2)} + \frac{(f+1)\omega}{(-2\omega^2 + fk_1\omega)} \right) \sin(\varphi_0) \right) \exp(\Psi_2 t) - \\ & - \frac{g(f+1)}{2(-2\omega^2 + fk_1\omega)} \cos(\varphi_0 + \omega t) - \frac{g(f-1)}{2(2f\omega^2)} \sin(\varphi_0 + \omega t). \end{aligned} \quad (4)$$

де $\Psi_1 = -f\omega + \sqrt{\omega^2(1+f^2) + fk_1\omega}$; $\Psi_2 = -f\omega - \sqrt{\omega^2(1+f^2) + fk_1\omega}$ – корені характеристичного рівняння, с⁻¹; f – коефіцієнт тертя компосту об матеріал лопаті; d_E – розміри частинки через діаметр еквівалентного шару, м; $k_1 = 3\pi\eta d_E / m$ – коефіцієнт пропорційності при ламінарному обтіканні частинки повітрям, с⁻¹.

Згідно рис. 10, виходячи з умови формування бурта правильної геометричної форми і варіюючи значеннями Δl від 0 до $R' + R''$ і $\Delta h = h' - h''$ від $R' + R''$ до $2(R' + R'')$, отримуємо графічну залежність відношення кінематичного показника λ другого барабана до першого від Δl і Δh , які представлені на рис 11–12. Встановлено, що для формування бурту висоти $H = 1$ м при збільшенні відстані між барабанами відношення кінематичних показників λ другого барабана до першого збільшується від 1,15 до 2,5.

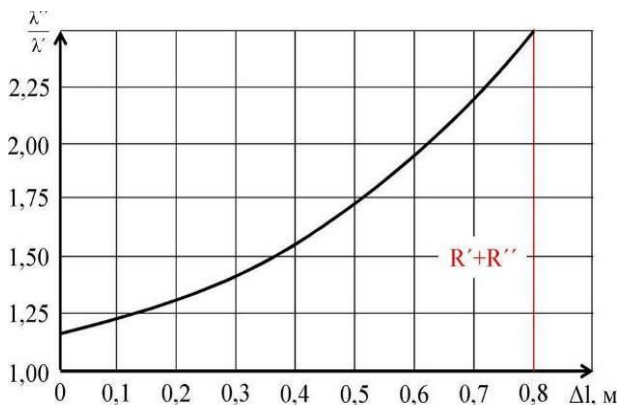


Рисунок 11 – Залежність відношення кінематичних показників λ другого барабана до першого від горизонтальної відстані між ними Δl

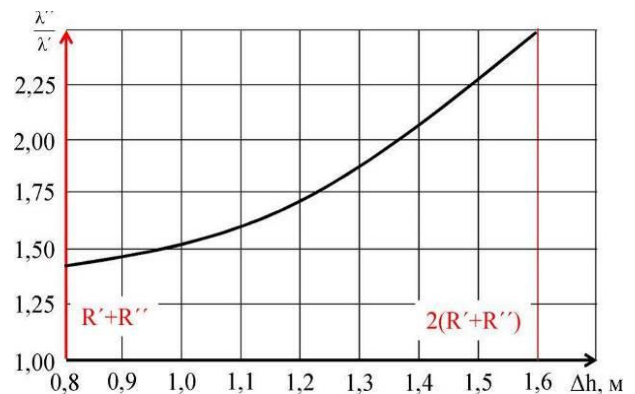


Рисунок 12 – Залежність відношення кінематичних показників λ другого барабана до першого від вертикальної відстані між ними Δh

У результаті теоретичних досліджень процесу взаємодії лопаті робочого органу аератора із компостною сумішшю встановлено розрахункову формулу для визначення загальної потужності, що витрачається робочим органом аератора в

процесі його роботи:

$$P = (C_0 + \sigma_n \operatorname{tg} \psi) h b \omega R n_{\text{л}} + 2\pi \omega R^3 b_{\text{л}} \gamma (1 - \cos \omega t) (\omega^2 \rho(t) + fg + 2\omega \dot{\rho}(t) f + g \sin \alpha) / \lambda. \quad (5)$$

де C_0 – коефіцієнт зчеплення гноє-компостної суміші, Па; σ_n – нормальне миттєве напруження опору гноє-компостної суміші, Па; ψ – кут внутрішнього тертя гноє-компостної суміші, рад; h, b – ширина і висота елементарної частки гноє-компостної суміші, м.

Для реалізації числового моделювання в програмному пакеті Star CCM+ було складено розрахункову схему процесу змішування компостної суміші однобарабаним лопатевим робочим органом в двох варіантах (рис. 13, а, б) і двобарабаним лопатевим робочим органом в одному варіанті (рис. 13, в). Тривимірне моделювання однобарабанного лопатевого робочого органу приведено на рис. 13, г.

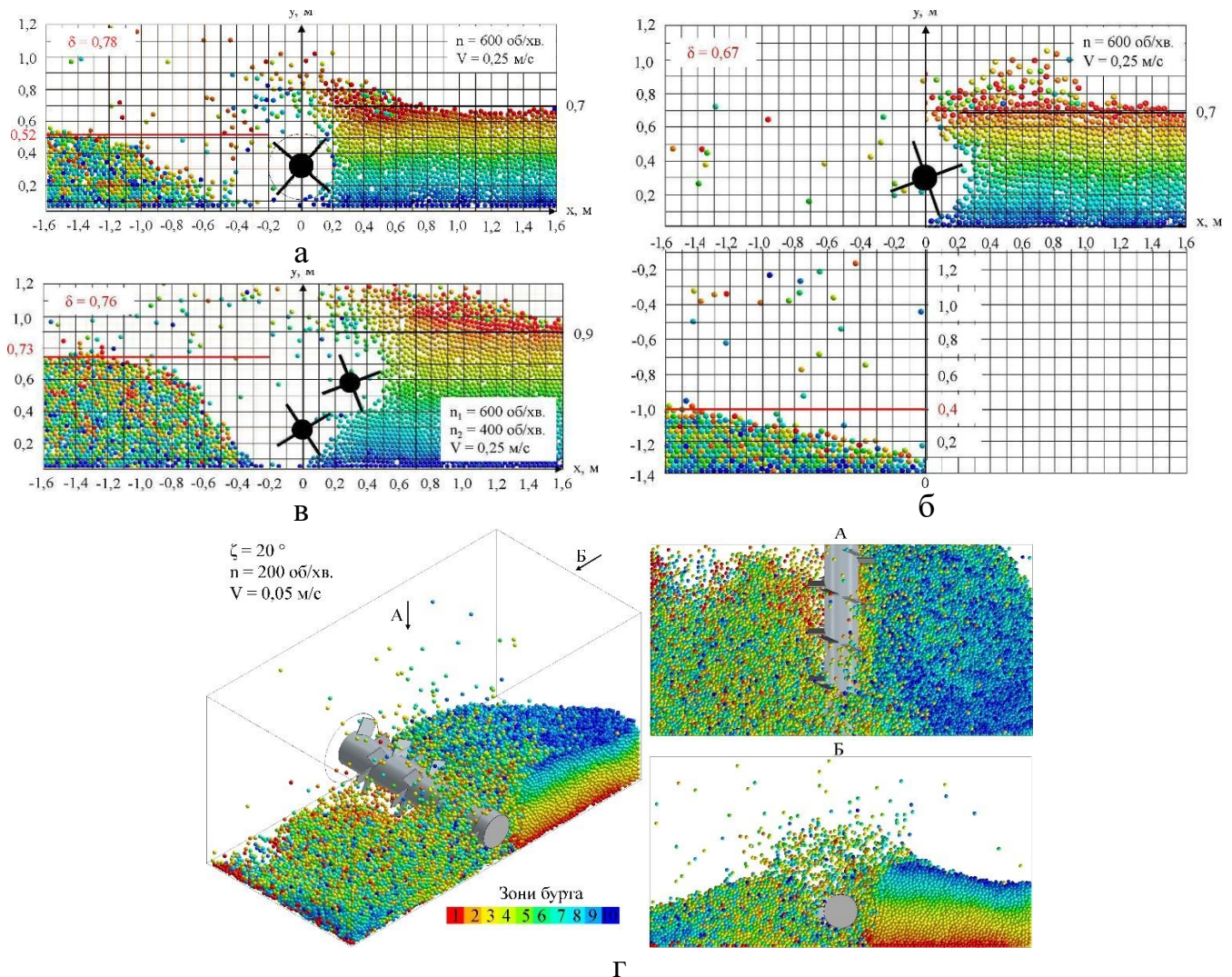


Рисунок 13 – Розрахункова схема і візуалізація результатів числового моделювання технологічного процесу змішування компостної суміші і формування бурта

За фактори моделювання процесу роботи однобарабанного робочого органу були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри: частота обертання барабану n (200–600 об/хв.), лінійна швидкість переміщення робочого органу (або компостної суміші) V (0,15–0,25 м/с), висота вихідного бурта H (0,3–0,7 м). Для двобарабанного робочого органу замість висоти вихідного бурта введено в якості фактору – частоту обертання другого барабана n_2 (200–600 об/хв.). Окремо було

проведено тривимірне чисельне моделювання однобарабанного лопатевого робочого органу. За фактори моделювання були прийняті: кут нахилу лопаті ζ (10–30 °), частота обертання барабану n (200–600 об/хв.), лінійна швидкість переміщення робочого органу V (0,15–0,25 м/с).

У результаті моделювання процесу змішування компостної суміші були встановлені залежності **показника аерації (розпушування)** – висоти сформованого бурта H від кута нахилу лопаті ζ , частот обертання робочих органів n (n_1 , n_2), лінійної швидкості переміщення робочого органу (або компостної суміші) V і висоти вихідного бурта H :

– однобарабанний лопатевий робочий орган на рівні із вихідним буртом:

$$\begin{aligned} H &= 0,268866 + 0,296528 H + 0,319444 H^2 - 0,00103403 n - 0,000208333 H n + \\ &+ 9,02778 \cdot 10^{-7} n^2 - 1,05417 V + 2,54167 H V + 0,000125 n V + 0,944444 V^2; \\ H &= 1,01115 - 0,000710263 n + 1,04421 \cdot 10^{-6} n^2 + 0,0260507 \xi - 0,0000259445 n \xi - \\ &- 0,00033 \xi^2 + 2,27408 V - 0,00058875 n V + 0,0179583 \xi V + 1,95907 V^2; \end{aligned} \quad (6)$$

– однобарабанний лопатевий робочий орган вище вихідного бурта:

$$\begin{aligned} H &= 0,186875 + 1,34236 H + 1,5 H^2 - 0,0016798 n - 0,00129167 H n + 2,08333 \cdot 10^{-6} n^2 + \\ &+ 1,70972 V - 6,20833 H V + 0,00120833 n V - 3,33333 V^2; \end{aligned} \quad (7)$$

– двобарабанний лопатевий робочий орган на рівні із вихідним буртом:

$$\begin{aligned} H &= 0,97787 + 0,977778 V - 2,11111 V^2 - 0,000499306 n_1 + 0,000291667 V n_1 + \\ &+ 4,3055 \cdot 10^{-7} n_1^2 - 0,001878 n_2 + 0,002708 V n_2 - 2,29167 \cdot 10^{-7} n_1 n_2 + 1,4305 \cdot 10^{-6} n_2^2. \end{aligned} \quad (8)$$

У результаті моделювання процесу змішування компостної суміші встановлені залежності однорідності розподілу компонентів суміші (коефіцієнта варіації **якості змішування**) δ від кута нахилу лопаті ζ , частот обертання робочих органів n (n_1 , n_2), лінійної швидкості переміщення робочого органу (або компостної суміші) V і висоти вихідного бурта H , а також від коефіцієнта завантаження κ і кінематичних показників режимів роботи λ (λ_1 , λ_2):

– однобарабанний лопатевий робочий орган на рівні із вихідним буртом:

$$\begin{aligned} \delta &= 1,0964 + 0,413927 H - 0,569826 H^2 - 0,00161823 n - 0,00023426 H n + \\ &+ 1,44573 \cdot 10^{-6} n^2 - 1,94199 V + 2,33282 H V + 0,00149216 n V + 1,84121 V^2; \\ \delta &= 0,553673 - 0,00198863 n + 1,5495 \cdot 10^{-6} n^2 + 0,00166465 \xi - 2,97987 \cdot 10^{-6} n \xi - \\ &- 0,0000211111 \xi^2 + 1,62279 V + 0,00142603 n V - 0,0129027 \xi V + 3,02957 V^2; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\delta = 0,667428 + 0,298578 \kappa - 0,0911722 \kappa^2 - 0,00112821 \lambda - 0,000888689 \kappa \lambda + 4,88711 \cdot 10^{-6} \lambda^2; \quad (10)$$

– однобарабанний лопатевий робочий орган вище вихідного бурта:

$$\begin{aligned} \delta &= 1,16933 - 0,199309 H - 0,184407 H^2 - 0,000914836 n + 0,000523364 H n + \\ &+ 6,78265 \cdot 10^{-7} n^2 - 1,11349 V + 1,03217 H V - 0,000416279 n V + 0,017169 V^2; \end{aligned} \quad (11)$$

$$\delta = 0,684991 + 0,0632616 \kappa - 0,0295052 \kappa^2 + 0,00099408 \lambda - 0,00014093 \kappa \lambda - 1,35072 \cdot 10^{-6} \lambda^2; \quad (12)$$

– двобарабанний лопатевий робочий орган на рівні із вихідним буртом:

$$\begin{aligned} \delta &= 0,630425 - 0,357841 V + 0,926431 V^2 - 0,000119875 n_1 - \\ &- 0,000149469 V n_1 + 2,50835 \cdot 10^{-7} n_1^2 + 0,00094284 n_2 + 0,000114028 V n_2 - \\ &- 1,10538 \cdot 10^{-7} n_1 n_2 - 1,04456 \cdot 10^{-6} n_2^2; \end{aligned} \quad (13)$$

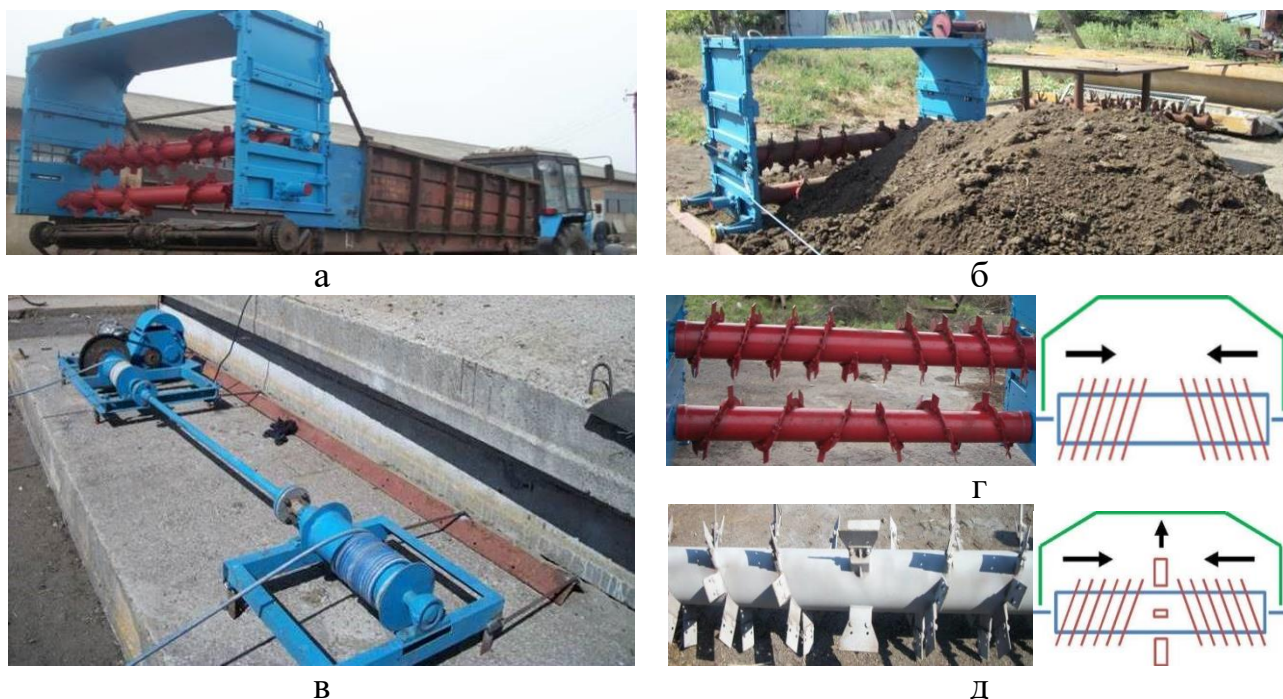
$$\begin{aligned} \delta &= 0,721983 - 0,000132435 \lambda_1 - 8,24555 \cdot 10^{-7} \lambda_1^2 + 0,00110122 \lambda_2 + \\ &+ 2,33733 \cdot 10^{-6} \lambda_1 \lambda_2 - 4,359 \cdot 10^{-6} \lambda_2^2. \end{aligned} \quad (14)$$

У четвертому розділі «Програма і методика експериментальних досліджень» описано програму досліджень, наведено методику експериментальних досліджень процесу ферментації компостної суміші, методику експериментальних досліджень універсального пристрою для подрібнення і змішування твердих органічних добрив, методики експериментальних досліджень причіпного розкидача добрив ПРТ-10 і

аератора із двобарабанним навісним пристроєм для подрібнення твердих органічних добрив, методику визначення показника структурності бурта.

Для реалізації експериментальних досліджень процесу подрібнення і змішування твердих органічних добрив було створено універсальну експериментальну установку, яка складається з рами, двох барабаних робочих органів і електричного приводу.

Створений пристрій для подрібнення і змішування твердих органічних добрив можна розташовувати на причіпному розкидачі добрив типу ПРТ-10 або на коліях, які розміщені на землі (рис. 14). Подача твердих органічних добрив на барабанні робочі органи здійснюється для першого випадку із застосуванням транспортеру, а для другого – із застосуванням механізму переміщення всього пристрою (рис. 14). Також на поданий пристрій можна встановлювати один або два барабаних робочих органів різної конфігурації (рис. 14).



а – розташування на причіпному розкидачі добрив типу ПРТ-10;

б – розташування на коліях; в – механізм переміщення пристрою; г – двобарабанний робочий орган Л-подібний; д – однобарабанний робочий орган М-подібний

Рисунок 14 – Загальний вигляд універсальної експериментальної установки для подрібнення і змішування твердих органічних добрив

У якості факторів експериментальних досліджень було обрано: вид гною (фактор А) – підстилковий гній ВРХ (щільність $\gamma=680-750$ кг/м³; вологість $W = 42-66$ %), підстилковий послід (щільність $\gamma = 360-460$ кг/м³; вологість $W=32-44$ %); місце розташування (фактор В) – на причіпному розкидачі (типу ПРТ-10), на коліях (типу аератор); вид барабанного робочого органу (фактор С) – шнеково-лопатевий (М - подібний), лопатевий (Л - подібний); кількість барабаних робочих органів (фактор D) – 1, 2; частота обертів барабанного робочого органу, n (фактор Е) – 180 об/хв., 320 об/хв., 460 об/хв. Частоти обертання нижнього і верхнього робочих органів змінювалась на привідних механізмах. Експериментальні дослідження були проведені за планом із загальною кількістю дослідів – 36. Для визначення траєкторій руху частинок компосту в якості заднього фону використовувалася координатна площина, розміром одиничного напрямку в 100 мм. Даний процес фіксувався відеокамерою. Виходячи із отриманих світлин, встановлювалися

значення найбільшої швидкості частинок V_p , найбільшої висота польоту частинок h_p , найбільшої дальності польоту частинок, l_p . У якості критеріїв експериментальних досліджень було обрано: однорідність розподілу компонентів отриманої компостної суміші δ , споживану потужність P , показник структурності бурта θ . Енергетичним критерієм оцінки процесу подрібнення і змішування твердих органічних добрив було середнє значення споживаної потужності P . Динаміка зміни споживаної потужності P визначалася частотним перетворювачем VLT Micro Drive.

Для реалізації експериментальних досліджень процесу механічної аерації і змішування компостної суміші було створено експериментальну установку на базі причіпного розкидача добрив ПРТ-10 із двобарабанным навісним пристроєм для подрібнення твердих органічних добрив (рис. 14, а). За фактори експериментальних досліджень були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри: частота обертання нижнього робочого органу n_1 (170–490 об/хв.), частота обертання верхнього барабану n_2 (170–490 об/хв.), лінійна швидкість переміщення компостної суміші (швидкість транспортеру ПРТ-10) V (0,05–0,25 м/с), розташування верхнього робочого органу відносно нижнього L (-0,4–0,4 м). Моделювання було проведено за планом Бокса–Бенкіна із загальною кількістю дослідів – 27. Другим етапом експерименту був порахунок результатів досліджень із наступними факторами: кінематичний показник нижнього робочого органу λ_1 , кінематичний показник верхнього барабану λ_2 , розташування верхнього робочого органу відносно нижнього L . У якості сировини для експериментальних досліджень було взято свіжий (вивантажений з приміщень) підстилковий послід на основі лушпиння соняшнику, середня об'ємна маса якого складала $\gamma = 480 \text{ кг/м}^3$, а середня вологість $W = 32,2 \%$. Технологічними критеріями оцінки сформованості бурта є його висота H , яка повинна складати 1,5 м. Це значення досягається шляхом періодичного переміщення агрегату МТЗ-80+ПРТ-10.

Для реалізації експериментальних досліджень процесу механічної аерації і змішування компостної суміші було створено експериментальну установку на базі аератора компостних сумішей із двобарабанным робочим органом (рис. 14, б). За фактори експериментальних досліджень були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри: частота обертання нижнього барабану n_1 (180–460 об/хв.), частота обертання верхнього барабану n_2 (180–460 об/хв.), лінійна швидкість переміщення робочого органу V (0,05–0,15 м/с), висота вихідного бурта H (0,5–1,1 м). Висоту вихідного бурта формували шляхом транспортера розкидача добрив ПРТ-10. Моделювання було проведено за планом Бокса–Бенкіна із загальною кількістю дослідів – 27. Другим етапом було отримання результатів досліджень з наступними факторами: кінематичний показник нижнього робочого органу λ_1 , кінематичний показник верхнього барабану λ_2 , висота вихідного бурта H .

Якісними критеріями оцінки процесу механічної аерації і змішування компостної суміші були прийняті однорідність за вологістю. Кількісними критеріями оцінки роботи є пропускна спроможність Q . Енергетичним критерієм – середнє значення споживаної потужності P . Критерієм оцінки досліджень є питома енергоємність процесу, яка визначалася за виразом $E = 1000P/(Q_p)$.

Оскільки структурна цілісність і міцність агрегатів доволі нестійка, і, відповідно, немає можливості використовувати сита, була використана методологія на основі статистичного аналізу цифрових світлин – фотографій високого розширення. На першому етапі формуються світлини цифровою фотокамерою. Одержані відображення в форматі JPEG заносилися в комп'ютерну програму

(оригінальна розробка), де в режимі віртуального сканування переводяться в двомірні цифрові матриці, що відображають коефіцієнти світового зображення і поглинання від поверхні. Далі всі цифрові значення формувалися до одиниці. Після цього двомірні цифрові матриці трансформувалися в лінійні цифрові ряди шляхом суміщення стовбців. Розмір таких рядів складав приблизно $3 \cdot 10^4$ елементів (чисел). Використовуючи сертифіковану програму аналізу цифрових рядів (сингулярного розмноження – векторний варіант розкладення в ряд Фур'є), обчислювалися основні гармоніки, що дозволяло синтезувати двомірні цифрові матриці, виключаючи з них шуми і флуктуації, таким чином, вирівнюючи значення. По новим одержаним матрицям будувалися поверхні, що відображали розподіл коефіцієнтів світлового поглинання на площині, на якій розстелений шар компосту. Побудовані таким чином поверхні мають певну структурну конфігурацію, що відображає розподіл агрегатів, їх форму та розмір з визначенням середнього значення і дисперсії.

У п'ятому розділі «Результати експериментальних досліджень» подано дослідження процесів ферментації компостної суміші, універсального пристрою для подрібнення і змішування твердих органічних добрив, причіпного розкидача добрив ПРТ-10 і аератора із двобарабанним навісним пристроєм для подрібнення твердих органічних добрив.

Використовуючи дисперсійний аналіз, визначено раціональний конструкційний варіант розробленого універсального пристрою для *подрібнення і змішування* гною ВРХ (один лопатевий М-подібний барабанний робочий орган, встановлений на причіпному розкидачі типу ПРТ-10, що обертається із частотою 460 об/хв), при цьому спостерігаються найбільша однорідність розподілу компонентів отриманої компостної суміші $\delta = 0,98$ і найбільший показник структурності бурта $\theta = 90,4$ при найменшому середньому значенні споживаної потужності – $P = 8,7$ кВт. У свою чергу раціональний конструкційний варіант розробленого універсального пристрою для подрібнення і змішування посліду є таким: однобарабанний М-подібний робочий орган, який встановлено на коліях (аератор) і обертається із частотою 460 об/хв. При цьому спостерігається найбільша однорідність розподілу компонентів отриманої компостної суміші $\delta = 0,95$, показник структурності бурта становить $\theta = 90,1$ при найменшому середньому значенні споживаної потужності $P = 8,4$ кВт.

Експериментально визначено траєкторії руху часток суміші для кожного дослідження. Візуалізацію деяких дослідів наведено на рис. 15 із якого видно траєкторію руху частинок компостної суміші і можна визначити для частинок найбільші значення швидкості V_p , висоти польоту h_p і дальності польоту l_p . Аналіз отриманих даних показав, що найбільша швидкість частинок компостної суміші $V_p = 13,1-13,4$ м/с спостерігається для варіанту універсального пристрою із однобарабанним робочим органом, який встановлено на причіпному розкидачі типу ПРТ-10 при найбільшій частоті його обертання. При цьому, для частинок найбільші значення висоти польоту частинок $h_p = 6,2-6,5$ м, дальності польоту $l_p = 18,9-19,8$ м. Порівняння реальних траєкторій руху частинок з теоретичними – коефіцієнт кореляції складає $R = 0,82-0,93$ дають змогу стверджувати, що теоретичні фізико-механічні моделі є адекватними.

У результаті експериментальних досліджень причіпного розкидача добрив ПРТ-10 із двобарабанним навісним пристроєм для подрібнення твердих органічних добрив встановлені залежності:

– **енергетичного показника** – середнього значення споживаної потужності P

$$P = 3,88672 + 0,764405 L + 0,922574 L^2 - 0,00828371 n_1 + 0,000198171 L n_1 +$$

$$+ 0,0000146636 n_1^2 - 0,0021879 n_2 - 3,0726 \cdot 10^{-7} n_1 n_2 + 6,46516 \cdot 10^{-6} n_2^2 - 1,4447 V -$$

$$- 0,641768 L V + 0,000320122 n_1 V - 0,000301067 n_2 V + 15,313 V^2;$$

– **якості змішування** – однорідності компостної суміші δ_w

$$\delta = 0,542498 - 0,330861 L + 0,0013886 n_1 - 1,695964 \cdot 10^{-6} n_1^2 - 0,000102664 n_2 +$$

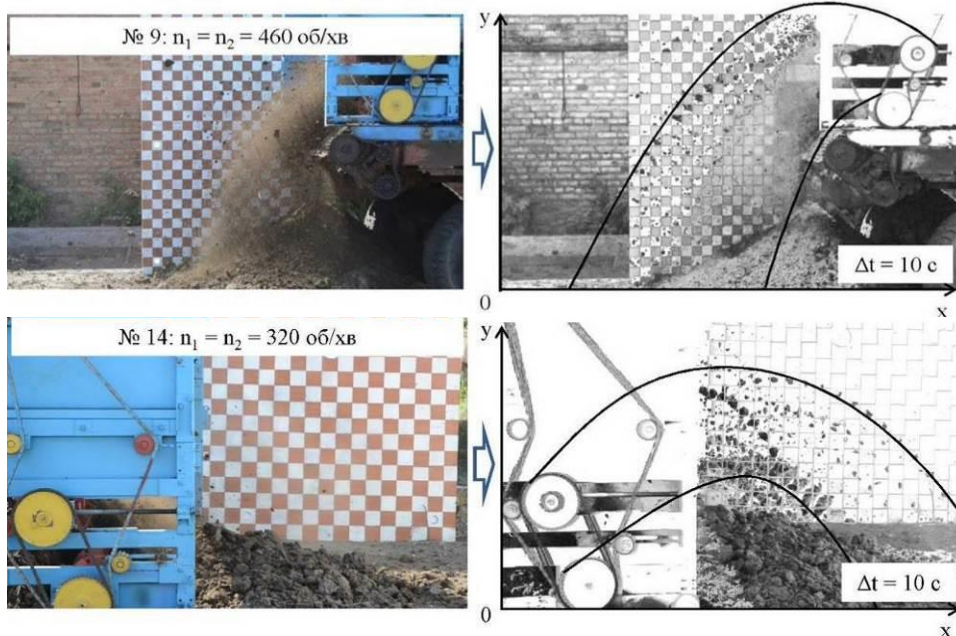
$$+ 0,000398441 L n_2 - 1,04511 V + 0,3625 L V + 0,00153125 n_1 V + 0,0025 n_2 V - 2,7604 V^2. \quad (16)$$


Рисунок 15 – Візуалізація процесу переміщення частинок компостної суміші під дією робочих органів універсальної експериментальної установки

Визначено раціональні конструктивно-технологічні параметри розробленого навісного пристрою для подрібнення твердих органічних добрив у результаті вирішення компромісної задачі, а саме: забезпечення найбільшої однорідності компостної суміші із низькими енергетичними втратами: $n_1 = 320$ об/хв, $n_2 = 170$ об/хв, $V = 0,05$ м/с, $L = -0,4$ м. При цьому однорідність компостної суміші складала $\delta = 0,88$, а споживана потужність $P = 3,34$ кВт.

У результаті експериментальних досліджень причіпного розкидача добрив ПРТ-10 із двобарабанним навісним пристроєм для подрібнення твердих органічних добрив встановлені залежності для визначення (рис. 16, 17):

– **якості змішування** – однорідності компостної суміші δ_w

$$\delta = 0,349092 - 0,116667 L + 0,00555772 \lambda_1 - 0,0000233032 \lambda_1^2 +$$

$$+ 0,00174708 \lambda_2 - 0,0000104244 \lambda_2^2; \quad (17)$$

– **енергетичного показника** – питомої енергоємності E

$$E = 2,25768 + 12,5862 L + 7,48881 L^2 + 0,198874 \lambda_1 +$$

$$+ 0,00239753 \lambda_1^2 + 0,306521 \lambda_2 - 0,00512468 \lambda_1 \lambda_2 + 0,00201042 \lambda_2^2. \quad (18)$$

Порівняння теоретичної і експериментальної (при $L = -0,4$ м) залежностей проведено з використанням коефіцієнту кореляції, який складає $R = 0,78$.

Аналіз отриманих даних показує, що для кінематичних показників $\lambda_1 = 119,2$ і $\lambda_2 = 83,8$ спостерігається максимальне значення однорідності компостної суміші $\delta = 0,80$. Визначені раціональні значення факторів досліджень за умови забезпечення мінімальної питомої енергоємності процесу: E ($\lambda_1 = 12,4$, $\lambda_2 = 12,4$, $L = -0,4$ м) = 4,57 Дж/кг.

У результаті експериментальних досліджень аератора із двобарабанним навісним пристроєм для подрібнення твердих органічних добрив встановлено залежності для визначення (рис. 18, 19):

– **показника аерації (розпушування)** – висоти сформованого бурта H'

$$H' = 0.61079 + 0.55894 H - 0.001214 n_1 + 1.1735 \cdot 10^{-6} n_1^2 - 0.001204 n_2 - 0.0005868 H n_2 + 1.20822 \cdot 10^{-6} n_2^2 - 2.10133 V + 2.01556 H V + 0.00166191 n_1 V + 0.00323809 n_2 V; \quad (19)$$

– **показника якості змішування** – однорідності δ_w

$$\delta = 0.465213 + 0.0833333 H + 0.0000381031 n_1 + 3.57128 \cdot 10^{-7} n_1^2 + 0.00137346 n_2 - 8.33327 \cdot 10^{-7} n_1 n_2 - 1.3847 \cdot 10^{-6} n_2^2 + 0.438326 V - 0.833333 H V; \quad (20)$$

– **показника подрібнення** – показника структурності θ компостної суміші

$$\theta = 70.0153 - 55.0926 H - 2.70062 H^2 + 0.125581 n_1 + 0.00992063 H n_1 - 0.00014384 n_1^2 + 0.0358717 n_2 + 0.0248016 H n_2 - 0.000106293 n_1 n_2 - 0.0000549178 n_2^2 - 81.5785 V - 125. H V + 0.35119 n_1 V + 0.505952 n_2 V - 850.689 V^2; \quad (21)$$

– **енергетичного показника** – середнього значення споживаної потужності P

$$P = 7.10504 + 1.12952 H - 0.0130359 n_1 + 0.0000171157 n_1^2 - 0.0102114 n_2 - 0.00357143 H n_2 + 0.000014824 n_1 n_2 + 0.000018041 n_2^2 - 18.5434 V + 18 H V + 63.5024 V^2. \quad (22)$$

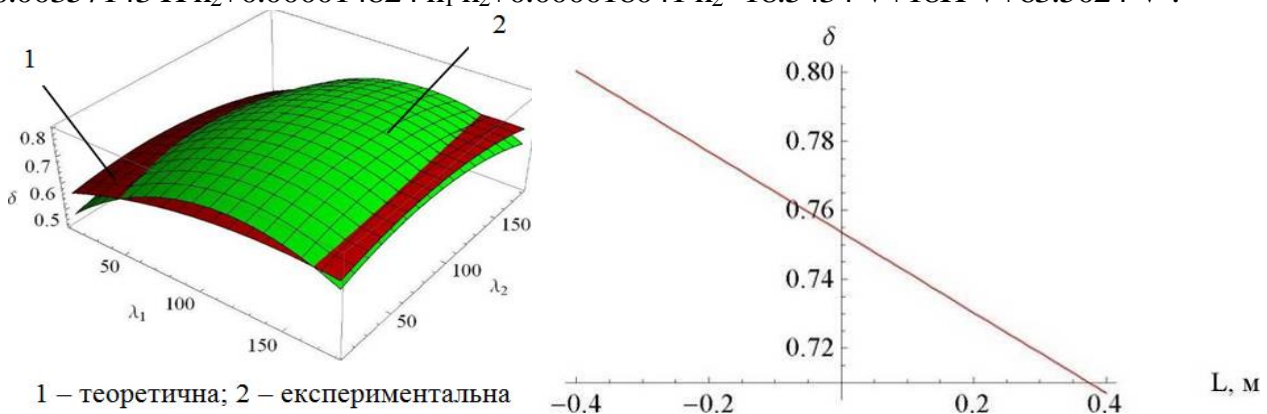


Рисунок 16 – Залежність однорідності компостної суміші в результаті її механічної аерації і змішування від факторів досліджень

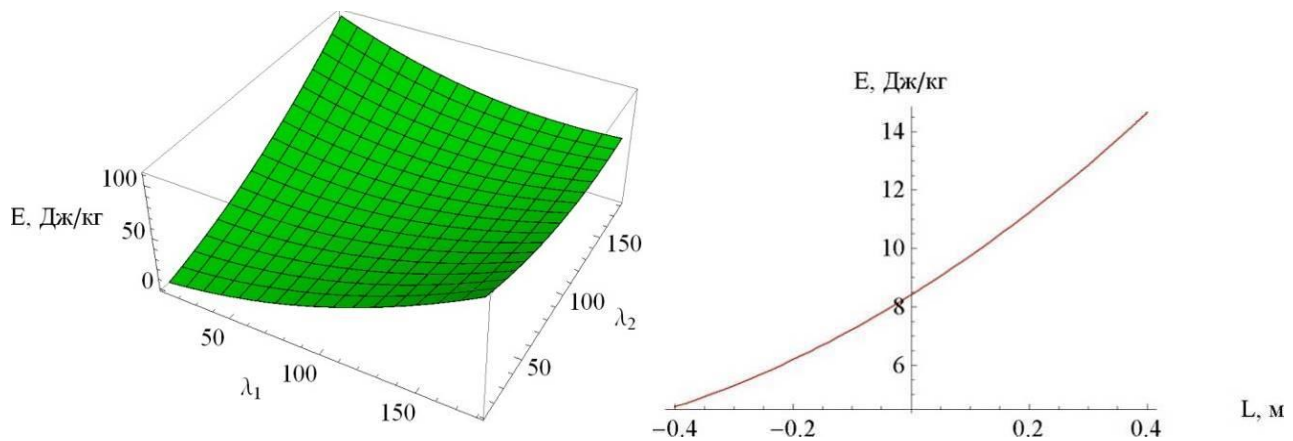


Рисунок 17 – Залежність питомої енергоємності процесу механічної аерації і змішування від факторів досліджень

Визначено раціональні конструктивно-технологічні параметри розробленого навісного пристрою для подрібнення твердих органічних добрив в результаті вирішення компромісної задачі, а саме забезпечення найбільшої однорідності, структурності і висоти бурта компостної суміші із низькими втратами енергії: $n_1 = 293$ об/хв, $n_2 = 180$ об/хв, $V = 0,05$ м/с, $H = 0,62$ м. При цьому однорідність компостної суміші складала $\delta = 0,71$, показник структурності бурта – $\theta = 62,4\%$, висота сформованого бурта – $H' = 0,47$ м, а споживана потужність – $P = 4,37$ кВт.

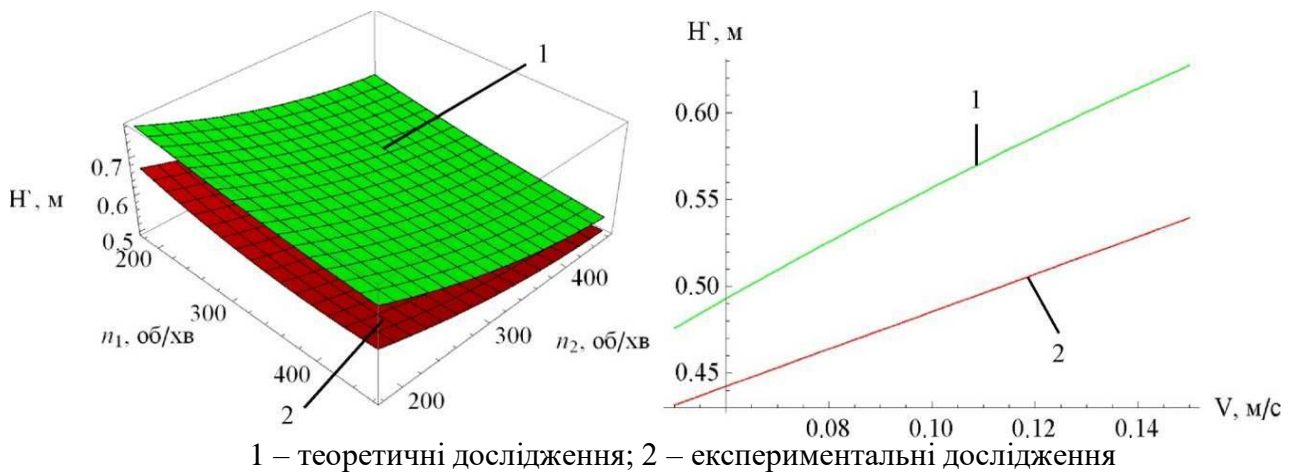


Рисунок 18 – Залежність висоти сформованого бурта компостної суміші від факторів досліджень

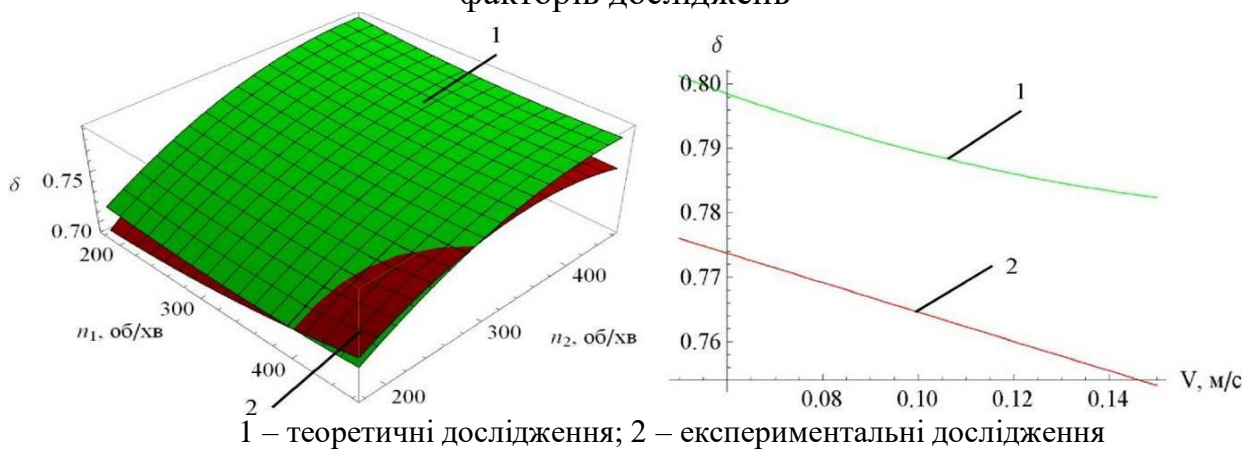


Рисунок 19 – Залежність однорідності компостної суміші за вологістю від факторів досліджень

Порівняння теоретичної і експериментальної (при $H = 0,8$ м) залежності проведено з використанням коефіцієнту кореляції, який складає $R = 0,96$.

У результаті експериментальних досліджень аератора із двобарабаним навісним пристроєм для подрібнення твердих органічних добрив встановлено залежності для визначення:

– **показника якості змішування** – середнього значення однорідності δ_w

$$\delta = 0.717503 - 0.0000510901 Q - 0.00152583 \lambda_1 + 2.05241 \cdot 10^{-6} Q \lambda_1 + 4.70363 \cdot 10^{-6} \lambda_1^2 + 0.00250197 \lambda_2 - 9.8496 \cdot 10^{-7} Q \lambda_2 - 8.824034 \cdot 10^{-6} \lambda_2^2; \quad (23)$$

– **показника подрібнення** – показника структурності бурта θ компостної суміші

$$\theta = 98.1988 - 0.21856 Q + 0.0001382 Q^2 + 0.109371 \lambda_1 + 0.0000199 Q \lambda_1 - 0.00304718 \lambda_1^2 - 0.116435 \lambda_2 + 0.000494316 Q \lambda_2 + 0.00436899 \lambda_1 \lambda_2 - 0.00246702 \lambda_2^2; \quad (24)$$

– **енергетичного показника** – питомої енергоємності E (рис. 20)

$$E = 0.0564278 - 0.00008622 Q + 1.32731 \cdot 10^{-7} Q^2 + 0.000223716 \lambda_1 - 4.76335 \cdot 10^{-7} Q \lambda_1 - 8.873 \cdot 10^{-7} \lambda_1^2 + 0.000259487 \lambda_2 - 5.367 \cdot 10^{-7} Q \lambda_2 + 6.64573 \cdot 10^{-7} \lambda_1 \lambda_2 - 9.54008 \cdot 10^{-7} \lambda_2^2. \quad (25)$$

Визначені раціональні значення факторів досліджень з умови забезпечення мінімальної питомої енергоємності процесу: E ($\lambda_1 = 168$, $\lambda_2 = 168$, $Q = 535$ м³/год) = 0,0052 кВт·год/м³.

Порівняння результатів досліджень для одного та двох робочих органів при розтушуванні їх на ПРТ-10 для гною ВРХ представлені на рис. 21. Порівняння результатів досліджень для одного и двох робочих органів при розтушуванні їх на аераторі для суміші підстилкового гною ВРХ представлені на рис. 22. Аналіз

показав, що якість змішування (однорідність за вологістю δ) і якість подрібнення (показник структурності бурта θ) ліпше у двобарабанного робочого органу. Однак при цьому спостерігається більша витрата енергії.

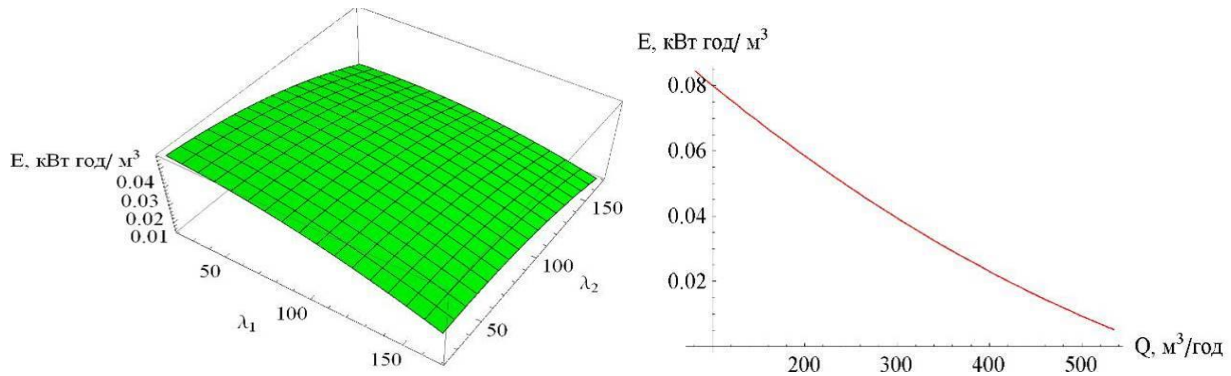


Рисунок 20 – Залежність питомої енергоємності аератора від факторів досліджень

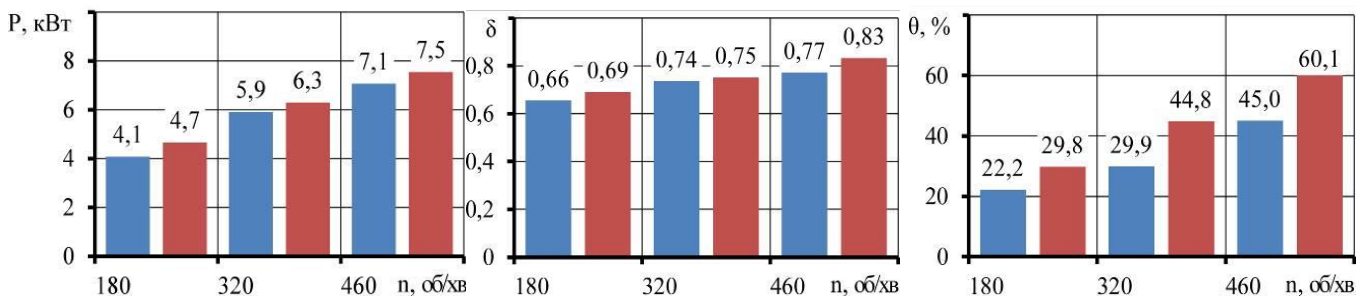


Рисунок 21 – Порівняння результатів досліджень для одного (синій) та двох (червоний) робочих органів при розташуванні їх на ПРТ-10 для гною ВРХ

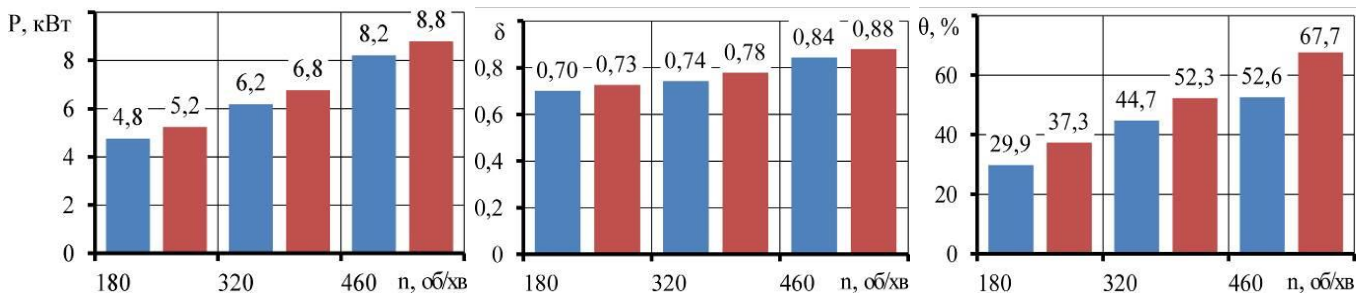


Рисунок 22 – Порівняння результатів досліджень для одного (синій) та двох (червоний) робочих органів при розташуванні їх на аераторі

Порівняння теоретичної залежності (6) і експериментальних даних проведено з використанням коефіцієнту кореляції $R = 0,89$. Графічна візуалізація представлена на рис. 22, з якого наочно видно про наближеність експериментальних даних до теоретичних.

У шостому розділі «Практична реалізація результатів досліджень та їх ефективність» наведено результати виробничих випробувань техніко-технологічного забезпечення механізованого компостування, технологічні карти виробництва компостів і економічна оцінка впровадження результатів досліджень. Розроблено 24 конструкторсько-технологічних рішення комплексів машин механізованого процесу прискореного компостування органічних сумішей (рис. 23), які містять: універсальний транспортно-розвантажувальний агрегат повного циклу операцій з дозованою подачею сировини до робочих органів для підготовки компонентів і суміші; мобільний аератор-змішувач причіпного або самохідного виконання із робочими органами роторного типу для проведення операцій аерації,

змішування, перелопачування і формування бурта; технічні засоби управління механізованими операціями виробництва компостів на майданчиках – навантажувачі безперервної дії з прямим або боковим перевантаженням з можливістю проведення аерації сировини.

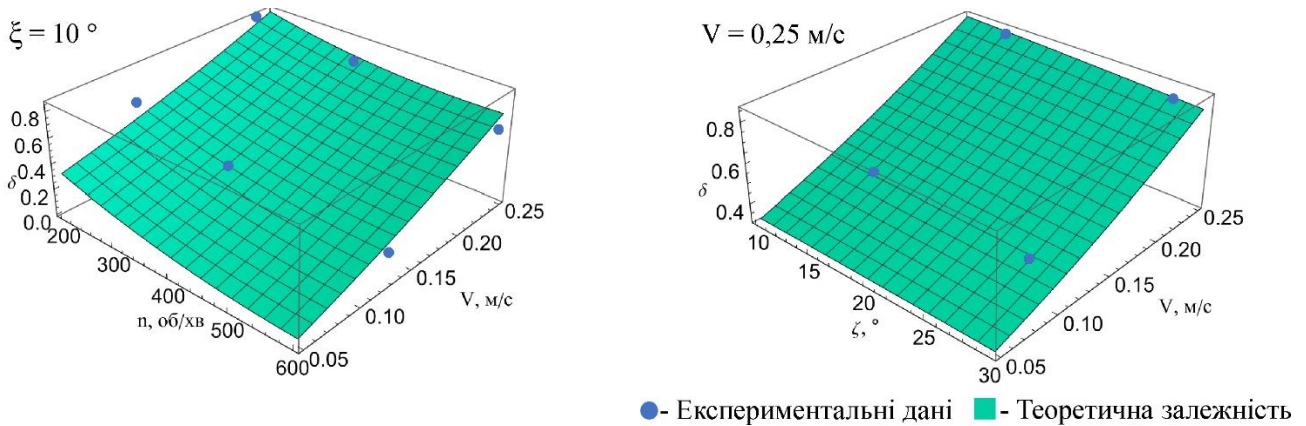


Рисунок 22. – Порівняння теоретичної залежності (6) і експериментальних даних

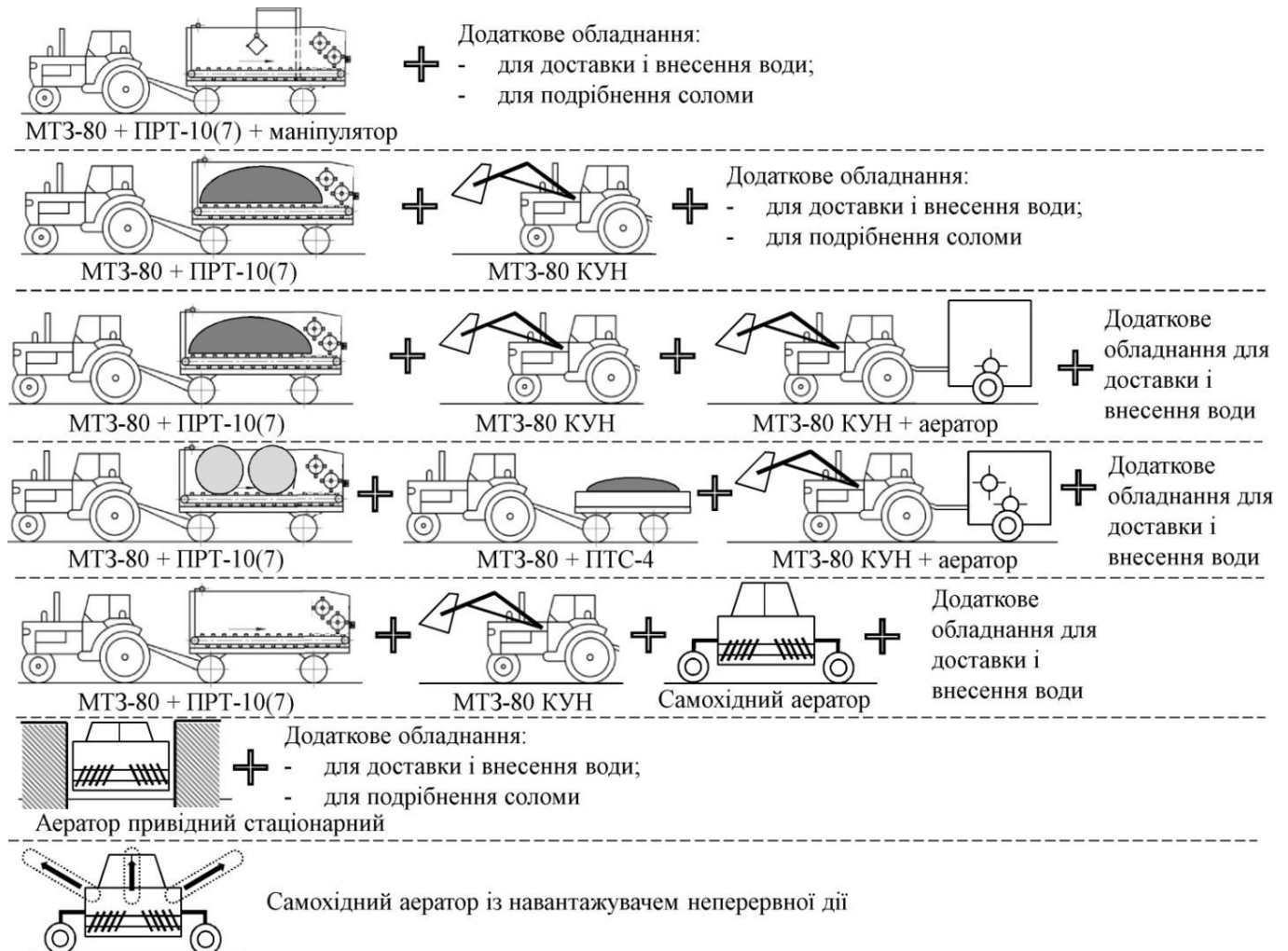


Рисунок 23. – Комплекси машин механізованого процесу прискореної ферментації органічних сумішей

У результаті досліджень раціональних рішень щодо комплектації технічними засобами механізованої технології виробництва компостів розроблено два варіанта технологічних карт. Перший варіант оснований на застосуванні причіпного

аератора-змішувача АЗК-2, а другий варіант – модернізованого розкидача органічних добрив ПРТ-10 у парі із навантажувачем Т-156К. Найбільша різниця в технологічних показниках зазначених варіантів спостерігається у витратах палива – майже в 2,5 рази на користь використання причіпного аератора-змішувача АЗК-2.

Економічна оцінка (рис. 24) розроблених технологічних карт показує, що у варіанті механізованого технологічного комплексу, який базується на технічних засобах із наявних в господарстві і мінімальному доопрацюванні розкидача ПРТ-10 питомі затрати на виробництво компосту складають 176,28 грн./т.

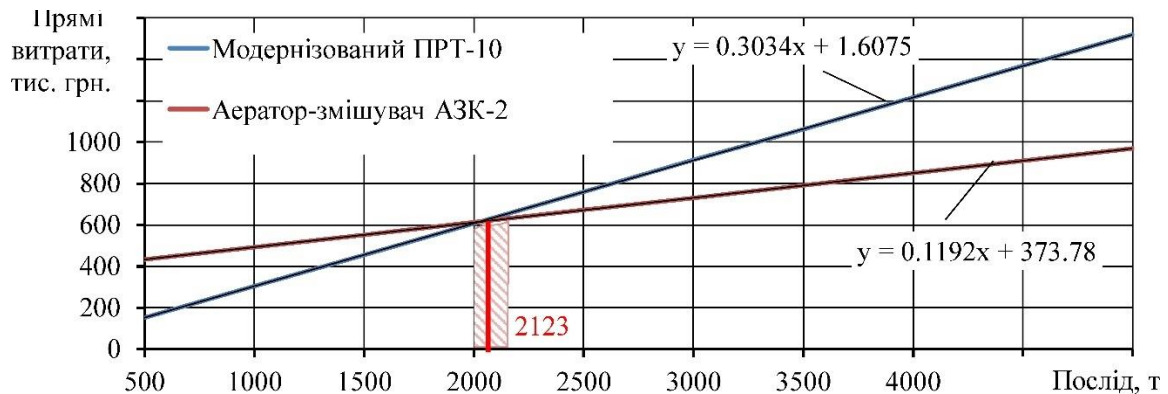


Рисунок 24. – Розподіл питомих експлуатаційних витрат виробництва компостів

Для комплексу по іншому варіанту, де необхідно витратити кошти на модернізацію розкидача ПРТ-10 і закупівлю причіпного аератора-змішувача АЗК-2 біля 300 тис. грн., питомі затрати на виробництво компосту складають 108,39 грн./т. Межа застосування модернізованого розкидача ПРТ-10 знаходиться у діапазоні 2000–2200 т переробленого гною, а причіпного аератора-змішувача АЗК-2 вище відміченого значення.

ВИСНОВКИ

У роботі приведено вирішення наукової проблеми підвищення ефективності виробництва компостів з органічної сировини агроєкосистем на основі створення, впровадження і наукового обґрунтування системних технологічних і технічних рішень. Результати аналітичних, теоретичних і експериментальних досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

1. У результаті аналізу літературних джерел, вітчизняних і зарубіжних наукових досліджень встановлено, що зменшення негативного впливу органічної біомаси рослинництва і тваринництва при їх накопиченні на екологічний стан оточуючого середовища можливо досягнути за рахунок виробництва компостів за прискореною технологією ферментації, які незаражені від шкідливої мікрофлори і мають збільшену концентрацію поживних речовин в порівнянні з початковою. Встановлено, що багатостадійна система компостування з механізованими операціями змішування компонентів, перелопачуванням компостних сумішей і одночасною аерацією є найбільш ефективною, оскільки розпад органічної складової компостної суміші і випаровування води за рахунок вивільненої теплової енергії призводить до зміни відносних показників вмісту води (40–70 %), зольних елементів (20–40 %) та органіки (10–40 %) в готовому компості. Це суттєво поліпшує його агротехнічні властивості: підвищується рівень вмісту сухої речовини до 40 % (400 кг на тонну) та питомий вміст біогенних речовин.

2. Удосконалено склад комплексу технічних засобів механізованого процесу прискореної ферментації суміші гною (посліду) з рослинною біомасою, що включають: транспортні агрегати повного циклу операцій; транспортні агрегати та мобільні аератори-змішувача причіпного або самохідного виконання; транспортні агрегати та навантажувачі безперервної дії з прямим або боковим перевантаженням. Використання запропонованих технічних засобів забезпечує підготовку сировини (подрібнення, змішування, газообмін, форматування бурту), що скорочує терміни ферментації до 30–60 діб, вдвічі зменшує кількість задіяних одиниць машин і обладнання на 15–30 %, знижує собівартість механізованих робіт на 30–50 %, зменшення енергетичних втрат на 30–40 %.

3. Теоретично обґрунтовано і експериментально досліджено фізико-математичну модель процесу механізованого компостування органічної сировини агроєкосистем технічними засобами із барабанно-лопатевим робочими органами, яка функціонально встановлює зв'язок між його конструктивно-технологічними параметрами (кількістю лопатей, кутовою швидкістю, площею стружки) та висотою отриманого бурта компосту. Одержано залежність для визначення маси відокремлюваної стружки компосту від конструктивних і кінематичних параметрів барабанно-лопатєвого робочого органу. Встановлено, що при діаметрі барабана 0,35 м, ширині лопаті 0,07 м, щільності компосту 500 кг/м^3 та швидкості руху аератора-змішувача 0,1 м/с, збільшення величини кінематичного показника режиму роботи барабана аератора-змішувача від 60 до 120 за рахунок зміни кутової швидкості барабана призводить до зменшення маси компосту на лопатях барабана при їх повороті на 180° практично у два рази.

4. Теоретично обґрунтовано і експериментально досліджено фізико-математичну модель процесу механізованого компостування органічної сировини агроєкосистем технічними засобами із барабанно-лопатєвими робочими органами, яка функціонально встановлює закономірності відношення кінематичних показників другого барабана до першого від значень горизонтальної і вертикальної відстані між ними. Встановлено, що для формування бурту висотою 1 м при збільшенні відстані між барабанами відношення кінематичних показників другого барабана до першого збільшується від 1,15 до 2,5.

5. Моделювання процесу змішування компостної суміші однобарабанним і двобарабанним лопатєвим робочим органом у двох варіантах розміщення формуючого бурта встановлено закономірності для визначення висоти бурта від частоти обертання, лінійної швидкості переміщення робочого органу (або компостної суміші) і висоти вихідного бурта. Встановлено, що для певної частоти обертання однобарабанного лопатєвого робочого органу (для варіанту розміщення на рівні з вихідним буртом – $n = 537 \text{ об/хв.}$, для варіанту розміщення вище вихідного бурта – $n = 200 \text{ об/хв.}$), лінійної швидкості переміщення $V = 0,25 \text{ м/с}$ і висоти вихідного бурта $H = 0,7 \text{ м}$ спостерігається мінімальне значення висоти сформованого бурту $H' = 0,58 \text{ м}$. Для двобарабанного лопатєвого робочого органу при частоті обертання першого і другого барабанів $n_1 = 200 \text{ об/хв.}$, $n_2 = 440 \text{ об/хв.}$, лінійної швидкості переміщення $V = 0,25 \text{ м/с}$ спостерігається мінімальне значення висоти сформованого бурта $H' = 0,56 \text{ м}$.

6. Розроблено математичну модель, та встановлено закономірність яка пов'язує величину однорідності розподілу компонентів суміші із коефіцієнтом завантаження і кінематичним показником режиму роботи. Встановлено, що для певної частоти обертання однобарабанного лопатєвого робочого органу (для варіанту розміщення на рівні з вихідним буртом – $n = 518 \text{ об/хв.}$, для варіанту розміщення вище вихідного бурта – $n = 590 \text{ об/хв.}$), лінійної швидкості переміщення

$V = 0,25$ м/с і висоти вихідного бурта $H = 0,7$ м спостерігається мінімальне значення однорідності розподілу компонентів суміші $\delta = 0,66$. Для двобарабанного лопатевого робочого органу при розміщенні на рівні з вихідним буртом: мінімальне значення однорідності розподілу компонентів суміші $\delta = 0,67$ спостерігається при частоті обертання першого барабану $n_1 = 345$ об/хв., частоті обертання другого барабану $n_2 = 345$ об/хв. і лінійної швидкості переміщення робочого органу $V = 0,20$ м/с.

7. У результаті експериментальних досліджень умов біотермічних процесів компостування гное-компостної суміші одержані математичні закономірності, що описують динаміку зміни хімічного складу компосту по азоту (N), фосфору (P) і калію (K). Результати показують підвищення значень складу N, P, K в сумішах при механізованих способах обробки. Встановлено, що механізоване компостування сировини забезпечує ріст внутрішніх температур до максимальної температури 65–71 °С (при висоті бурта 1,5 м) на 2–3 день після укладання бурту. За 15–17 діб температура складає до 50 °С, що не відповідає термофільному режиму життєдіяльності бактерій і процеси поступово переходять в мезофільний режим – до 40 °С. У результаті експериментальних досліджень біотермічних процесів компостування гною встановлено, що під час ферментації сировини в буртах без обробки (36 діб) вага бурту (при висоті бурта 1,5 м) зменшилась на 20 % (вологість сировини зменшилась на 5 %). У буртах із механічною обробкою і додаванням води, вага бурту змінювалась від кількості внесеної води, що призводило до збільшення вологості сировини. Відбулося значне зменшення органічної речовини з 47-50 % до 32-35 % в необробленій сировині проти 50–52 % до 40–41 %. Разом з тим, суттєво змінилась структура обробленого компосту: дрібні і пиловидні частини під дією вологи, температури перетворились на агрегатне середовище часток від 5 до 10 мм зі значним зменшенням кількості грудок і пластів.

8. Розроблено методіку вибору технічного забезпечення виробництва компостів із органічної сировини агрокосистем і експериментально визначено раціональний конструкційний варіант розробленого універсального пристрою для подрібнення і змішування (сировина вологістю більше 60 %) – (одно) двобарабанний Л-подібний робочий орган, який встановлено на причіпному розкидачі типу ПРТ-10 і обертається із частотою 460 об/хв., при яких спостерігається найбільші однорідність розподілу компонентів отриманої компостної суміші $\delta = 0,98$ і показник структурності бурта $\theta = 90,4$ при найменшому середньому значенні споживаної потужності $P = 8,7$ кВт. У свою чергу раціональний конструкційний варіант розробленого універсального пристрою для подрібнення і змішування сировини, є таким: один лопатевий Л-подібний барабанний робочий орган, який встановлено на коліях (аератор-змішувач) і обертається із частотою 460 об/хв, при якому спостерігається найбільші однорідність розподілу компонентів отриманої компостної суміші $\delta = 0,95$ і показник структурності бурта $\theta = 90,1$ при найменшому середньому значенні споживаної потужності $P = 8,4$ кВт.

9. У результаті експериментальних досліджень причіпного розкидача добрив ПРТ-10 із двобарабанним навісним пристроєм для подрібнення твердих органічних добрив визначено раціональні конструктивно-технологічні параметри навісного пристрою для подрібнення твердих органічних добрив в результаті вирішення компромісної задачі, а саме: забезпечення найбільшої однорідності компостної суміші із низькими енергетичними втратами: $n_1 = 320$ об/хв, $n_2 = 170$ об/хв, $V=0,05$ м/с, $L= -0,4$ м. При цьому однорідність компостної суміші складала $\delta=0,88$, а споживана потужність $P = 3,34$ кВт. Експериментальними дослідженнями аератора із двобарабанним навісним пристроєм для подрібнення твердих органічних добрив

визначено раціональні конструктивно-технологічні параметри навісного пристрою для подрібнення твердих органічних добрив в результаті вирішення компромісної задачі, а саме забезпечення найбільшої однорідності, структурності і висоти бурта компостної суміші із низькими втратами енергії: $n_1=293$ об/хв, $n_2=180$ об/хв, $V=0,05$ м/с, $H=0,62$ м. При цьому однорідність компостної суміші складала $\delta = 0,71$, показник структурності бурта – $\theta=62,4$ %, висота сформованого бурта – $H'=0,47$ м, а споживана потужність – $P=4,37$ кВт. Встановлено, що використання двобарабанного робочого органу в порівнянні з однобарабанним за умови рівності висоти шару бурту є більш раціональним за критерієм показників втрат потужності $P_{о.б.} = 5,9-6,2$ кВт, $P_{д.б.} = 6,3-6,8$ кВт (при частоті обертання $n = 320$ об/хв.). Однобарабанні забезпечують вищі показники форматування бурту, дальності польоту часток, структурності $\theta_{о.б.} = 29,9-44,7$ %, $\theta_{д.б.} = 48,8-52,3$ %, однорідності $\delta_{о.б.} = 0,74$, $\delta_{д.б.} = 0,75-0,78$ (при частоті обертання $n = 320$ об/хв.).

10. Механізована технологія з використанням модернізованого ПРТ-10 рекомендується для господарств з об'ємом приготування компостів до 3-5 тисяч тон на рік і забезпечує одержання високоефективних добрив за 45–60 діб. Використання аератора-змішувача АЗК-2 на сировині щільністю вище 600 кг/м³ необхідне з агрегуванням з трактором МТЗ–80, обладнаним ходозменшувачем, що забезпечують робочу швидкість від $0,1$ м/с. Продуктивність аератора-змішувача при цьому складає $300-500$ т/год. Розроблено два варіанта технологічних карт щодо комплектації технічними засобами механізованої технології виробництва компостів. Перший – оснований на застосуванні причіпного аератора-змішувача АЗК-2, а другий варіант – модернізованого розкидача органічних добрив ПРТ-10 у парі із навантажувачем Т-156К. Найбільша різниця в технологічних показниках спостерігається в витратах палива – майже в 2,5 рази на користь використання причіпного аератора-змішувача АЗК-2. Економічна оцінка показує, що питомі затрати на виробництво компосту в цьому випадку складають $108,39$ грн./т на відміну від $176,28$ грн./т у першому варіанті. При обробці більше ніж $2000-2200$ т посліду рекомендовано використовувати причіпний аератор-змішувач АЗК-2. В структурі затрат виробництва механізація компостування складає $30-35$ %.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Голуб Г.І., Кухарець С.М., Марус О.А., Павленко С.І., Лопатько К.Г., Скоробогатов Д.В. Механіко-технологічні основи процесів виробництва органічної продукції рослинництва. Монографія: НУБіП Україна, 2017. 431 с. ISBN 978-617-7396-54-2. *(Здобувачу належить розділ по механізації виробництва компостів)*

Статті включених до міжнародної наукометричної бази даних Scopus

2. Golub G., Pavlenko S., Kukharets S. Analytical research into the motion of organic mixture components during formation of compost clumps. Eastern-European journal of Enterprise Technologies. 2017. № 3/1(87). P. 30–35. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.101097 *(Здобувачу належить система рівнянь по аналітичному обтунтуванню формування бурту і проведення експериментальних досліджень)*

3. Aliiev E., Pavlenko S., Aliieva O., Morhun O. Accelerated biothermal composting of manure-compost mixture. Agraarteadus, Journal of Agricultural Science, 2021, XXXII (2): 169–181. DOI: 10.15159/jas.21.30. *(Здобувачу належить проведення експериментальних досліджень та їх обробка)*

4. Aliiev E., Pavlenko S., Golub G., Bielka O. Research of mechanized process of

organic waste composting. *Agraarteadus, Journal of Agricultural Science*, 2022, XXXIII (1): 21–32. DOI: 10.15159/jas.22.04. *(Здобувачу належить проведення експериментальних досліджень та їх обробка)*

Статті у наукових фахових виданнях

5. Павленко С.І., Ляшенко О.О., Науменко М.М. Визначення кінематичних характеристик фрезерно-барабанного робочого органу для змішування і механічної аерації компостних матеріалів. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Технічний сервіс машин для рослинництва». Вип. 134. Харків, 2013. С. 130–137. *(Здобувачу належить постановка робочої гіпотези та розробка розрахункового моделювання процесу з одержанням аналітичних математичних залежностей)*

6. Павленко С.І., Ляшенко О.О., Цис І.С. Моніторинг органічних відходів тваринництва в Україні. Зб. наук. праць ІМТ УААН «Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві». Вип. 1 (9). Запоріжжя, 2012. С.149–157. *(Здобувачу належить розробка методики для аналізу інформації і системи показників)*

7. Павленко С.І., Ляшенко О.О., Поволоцький А.А. Обґрунтування основних параметрів фрезерно-барабанного робочого органу для змішування та механічної аерації компостних матеріалів. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. т. 1, Глеваха. ННЦ ІМЕСГ, 2013. С. 628–637. *(Здобувачу належить встановлення аналітичного зв'язку між параметрами пристрою і висотою буртів компосту)*

8. Павленко С.І., Ляшенко О.О., Моделювання масового і енергетичного балансу в процесах компостування. Зб. наук. праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Вип. 1 (84). Вінниця, 2014. С. 135–141. *(Здобувачу належить розробка розрахункових схем для моделювання і їх аналіз)*

9. Павленко С.І., Ляшенко О.О., Філоненко Ю.А. Експериментальні дослідження процесу біоконверсного компостування пташиного посліду. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. Вип. 196., ч. 1. Київ, 2014. С. 400–409. *(Здобувачу належить аналіз та обробка експериментальних даних)*

10. Шевченко І.А., Ляшенко О.О., Павленко С.І. Проблеми і рішення утилізації органічних відходів тваринництва в Україні. Зб. наук. праць УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого «Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України». Вип. 15 (29). Дослідницьке, 2011. С. 448–456. *(Здобувачу належить збір та систематизація інформації)*

11. Павленко С.І. Механіко-математична модель процесу розвантаження лопаті барабанного робочого органу аератора гное-компостної суміші. Вісник Львівського національного університету. Агроінженерні дослідження. №18. Львів, 2014. С. 96–99.

12. Павленко С.І. Обґрунтування технологічної схеми процесу компостування органічних відходів на відкритих майданчиках. Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. «Технічні системи і технології тваринництва». Вип. 157. Харків, 2015. С. 197–201.

13. Павленко С.І. Теоретичні дослідження процесу взаємодії лопаті робочого органу аератора з гное-компостною сумішшю. Зб. праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Вип. 3 (92). Вінниця, 2015. С. 24–27.

14. Павленко С.І. Ресурсозбереження в біоконверсії органічної сировини. Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування

України. Серія: Техніка і енергетика АПК. Вип. 212/2. Київ, 2015. С. 297–302.

15. Павленко С.І. Теоретичні дослідження процесу формування бурта гноє-компостної суміші при її механічній аерації. Зб. наук. праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Вип. 2 (85). Вінниця, 2014. С. 81–91.

16. Голуб Г.А., Павленко С.І. Математична модель механічного змішування компостів компостної суміші. Загальнодержавний збірник «Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 3. (102). ННЦ ІМЕСХ. Глеваха, 2016. С. 121–130. *(Здобувачу належить проведення моделювання роботи аератора-змішувача і його аналіз)*

17. Павленко С.І. Прискорене компостування підстилкової суміші курячого посліду та лушпиння насіння соняшнику. Вісник Дніпропетровського аграрно-економічного університету. № 2. Дніпро, 2016. С. 62–65.

18. Голуб Г.А., Павленко С.І. Визначення маси компосту на лопаті барабану під час розпушування буртів. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Механізація та автоматизація виробничих процесів». СНАУ. Вип. 10/1 (29). Суми, 2016. С. 99–103. *(Здобувачу належить проведення математичного моделювання процесу руху по лопаті і його аналіз)*

19. Голуб Г.А., Павленко С.І. Моделювання процесу руху компосту по лопаті барабану під час розпушування буртів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кіровоградський національний технічний університет. Вип. 46. Кіровоград, 2016. С. 20–29. *(Здобувачу належить розробка розрахункових схем та аналітичних математичних моделей руху компосту по лопаті)*

20. Голуб Г.А., Павленко С.І. Моделювання траєкторії польоту компосту під час розпушування буртів. Науковий вісник Таврійського агротехнічного університету. ТДАТУ. Вип. 6., т. 3. Мелітополь, 2016. С. 72–80. *(Здобувачу належить розробка розрахункових моделей процесу польоту компосту і одержання математичних залежностей)*

21. Павленко С.І. Вплив технологічних факторів на процеси компостування. Механізація та електрифікація сільського господарства. Загальнодержавний збірник. ННЦ ІМЕСГ. Вип. 6 (105). Глеваха, 2017. С. 144–153.

22. Павленко С.І. Чисельне моделювання процесу змішування компонентів компостної суміші робочим органом змішувача формувальника буртів. Зб. наук. праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Вип. 3 (95). Вінниця, 2016. С. 42–48.

23. Павленко С.І. Чисельне моделювання процесу змішування компонентів гноє-компостної суміші лопатевим робочим органом. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка і енергетика АПК. Вип. 254. Київ, 2016. С. 44–55.

24. Павленко С.І. Зміна хімічного складу гноє-компостної суміші посліду в результаті його компостування в натурних буртах. Вісник Житомирського національного агроекономічного університету. Вип. 2 (61), т. 1. Житомир, 2017. С. 163–169.

25. Павленко С.І. Ресурсозбереження в біоконверсії органічної сировини. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 5., т. 2. Мелітополь, 2015. С. 156–166.

26. Павленко С.І., Дудін В.Ю., Акіменко Р.М. Моніторинг ринку та технічних засобів виробництва твердих органічних добрив. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Вип. 170. Технічні

системи і технології тваринництва. Технологічний сервіс машин рослинництва. ХНТУСГ, 2016. С. 34–45. *(Здобувачем проведено аналіз і узагальнення ринку технічних засобів виробництва твердих органічних добрив)*

27. Павленко С.І. Результати експериментальних досліджень біотермічних процесів компостування підстилкового посліду на основі лушпиння соняшнику в натурних буртах. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Вип. 47, ч. 1. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 186–195.

28. Павленко С.І. Обґрунтування механізованих комплексів для прискореного компостування на базі розкидачів органічних добрив. Праці Таврійського державного агротехнічного університету. Вип. 16, т. 2. Мелітополь: ТДАТУ, 2016. С. 196–210.

29. Павленко С.І. Теоретичні дослідження взаємодії лопаті робочого органу аератора з гноє-компостною сумішшю. Механізація та електрифікація сільського господарства. Загальнодержавний збірник. Вип. 3 (102). ННЦ ІМЕСГ. Глеваха, 2016. С. 138–144.

30. Павленко С.І. Результати чисельного моделювання процесу змішування компонентів гноє-компостної суміші двобарабаним лопатевим робочим органом. Механізація та електрифікація сільського господарства. Загальнодержавний збірник. Вип. 5 (104). ННЦ ІМЕСГ. Глеваха, 2017. С. 149–159.

31. Павленко С.І. Основні принципи визначення енерговитрат робочих органів гноє-компостувальних машин. Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Зб.наук.праць. Технічні системи і технології тваринництва. Вип. 181. Харків, 2017. С. 223–227.

32. Павленко С.І. Розробка експериментальної установки для дослідження технічних засобів механізованих технологічних процесів компостування органічних відходів. Науковий журнал. Технічний сервіс агропромислового та транспортного комплексів. Вип. 12. ХНТУСГ. Харків, 2018. С. 43–49.

33. Павленко С.І. Виробничі випробування технології механізованого компостування органічних відходів з використанням аератора-змішувача. Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 31. Кропивницький: КНТУ, 2018. С. 28–39.

34. Павленко С.І., Ляшенко О.О., Поволоцький Ю.А., Філоненко Ю.А. Новітні технічні засоби переробки органічних відходів. Вісник ХНУСТГ ім. Василенка. Зб. наук. праць Технічні системи і технології тваринництва. Вип. 132. Харків, 2013. С. 193–200. *(Здобувачу належить розробка класифікації аераторів-змішувачів і її аналіз)*

35. Павленко С.І., Грицун А.В., Бабин І.А., Терещенко Д.В., Грисенко А.І. Виробничі випробування механізованої технології компостування безпідстилкового посліду. Всеукраїнський науково-технічний журнал. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вип. 2 (101). Вінниця, 2018. С. 15–22 *(Здобувачу належать результати виробничих випробувань виробництва компостів в господарських умовах)*

36. Голуб Г.А., Павленко С.І. Зміна фракційного складу гноє-компостної суміші посліду в результаті його компостування в буртах. Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування. Серія: Техніка і енергетика АПК. Вип. 282. Київ, 2018. С. 61–73 *(Здобувачем запропоновано використання світлин зразків сировини, їх цифрову обробку аналітичними методами при аналізі подрібнення гноє-компостної суміші)*

37. Павленко С.І. Результати експериментальних досліджень універсального пристрою для подрібнення і змішування твердих органічних добрив. Механізація та

електрифікація сільського господарства. Загальнодержавний збірник. Вип. 8 (107). ННЦ ІМЕСГ. Глеваха, 2018. С. 34–42.

38. Павленко С.І. Експериментальні дослідження показників роботи розкидача органічних добрив ПРТ-10 із двобарабанним навісним пристроєм. ХНТУСГ. Науковий журнал. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Вип. 14. Харків, 2018. С. 156–163.

39. Павленко С.І. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів двобарабанного навісного пристрою причіпного розкидача добрив ПРТ-10. Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування. Серія: Техніка і енергетика АПК. Вип. 298. Київ, 2018. С. 85–90.

40. Павленко С.І. Обґрунтування доцільності використання технічних засобів попереднього формування буртів компостних сумішей. Загальнодержавний збірник «Механіка та автоматика агропромислового виробництва». Вип. 2 (116). Глеваха, 2023. С. 153–163. DOI: 10.37204/2786-7765-2023-2-16.

41. Павленко С.І. Виробничі комплекси машин для аерації при компостуванні органічної сировини. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Вип. 53. Кропивницький: ЦНТУ, 2023. С. 67–75. DOI: 10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.67-75

42. Алієв Е.Б., Павленко С.І. Симуляція процесу формування бурта і змішування компонентів компостної суміші однобарабанним аератором. Вібрації в техніці та технологіях. Вип. 2 (109). ВНАУ: Вінниця, 2023. С. 30–39. DOI: 10.37128/2306-8744-2023-2-4. *(Здобувачем проведено чисельне моделювання і обґрунтовані параметри однобарабанного аератора)*

43. Павленко С.І. Техніко-економічна оцінка виробництва компостів з підстилкового посліду в умовах господарства. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вип. 3 (122). ВНАУ: Вінниця, 2023. С. 96–108. DOI: 10.37128/2520-6168-2023-3.

44. Павленко С.І. Обґрунтування раціональних варіантів застосування технічних засобів приготування компостної суміші. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вип. 4 (123). ВНАУ: Вінниця, 2023. С. 89–96. DOI: 10.37128/2520-6168-2023-4.

45. Павленко С. І. Модернізація розкидача органічних добрив ПРТ-10 для використання в технології механізованого компостування. Збірн. наук. праць: «Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для с.-г. України». Вип. 33 (47). Дослідницьке: УкрНДІПВТ, 2023. С. 101–111. DOI: 10.31473/2305-5987-2023-2-33(47)-9

Патенти

46. Пат. на кор. модель 91688 Україна, МПК(2014.01) А01С3/00. Змішувач-аератор компосту. Павленко С.І., Пугач А.М. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М. № u2014 01862. Заявл. 25.02.2014. Опублік. 10.07.2014. Бюл. № 13, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано виконувати привід робочого органу і переміщення від електродвигуна і генератора)*

47. Пат. на кор. модель 91689 Україна, МПК(2014,01) А01С3/00. Змішувач-аератор компосту. Павленко С.І., Пугач А.М. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М. № u201401863. Заявл. 25.02.2014. Опублік. 10.07.2014. Бюл. № 13, 2014 р. *(Здобувачем запропоновано виготовлення конструкції із модулів рами і робочого органу)*

48. Пат. на кор. модель 91334 Україна, МПК(2014.01) А01С3/00. Змішувач-аератор компосту. Павленко С.І., Пугач А.М. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М. № u201401864. Заявл. 25.02.2014. Опублік. 25.06.2014. Бюл. № 12, 2014 р. *(Здобувачем запропоновано фрезерний барабан на телескопічній штанзі)*

49. Пат. на кор. модель 90973 Україна, МПК(2014.01) A01C3/00, Змішувач-аератор компосту. Павленко С.І., Пугач А.М. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М. № u201401865. Опублік. 10.06.2014. Бюл. № 11, 2014 р. *(Здобувачем запропоновано привід опорного колеса гідромотором для синхронізації руху агрегату)*

50. Пат. на кор. модель 91335 Україна, МПК(2014.01) A01C3/00, Машина для приготування компосту. Павленко С.І., Пугач А.М. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М. № u201401866. Заявл. 25.02.2014. Опублік. 25.06.2014. Бюл. № 12, 2014 р. *(Здобувачем запропоновано виконувати гвинтову навивку профілем логарифмічної спіралі)*

51. Пат. на кор. модель 96770 Україна, МПК(2015.01) A01C3/00. Машина для приготування компосту. Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. № u 201410673. Заявл. 29.09.2014. Опублік.10.02.2015. Бюл. № 3, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано перфорований вивантажувальний транспортер із захисним кожухом)*

52. Пат. на кор. модель 96770 Україна, Машина для приготування компосту. Опубл.10.02.2015. *(Здобувачем запропоновано конструкцію зубів робочого органу і їх розміщення)*

53. Пат. на кор. модель 96767 Україна, МПК(2015.01) A01C3/00. Змішувач-аератор компосту. Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. заявл.29.09.2014. Опублік.. 10.02.2015. Бюл. № 3, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано висоту лопаті вибирати рівною діаметру барабана)*

54. Пат. на кор. модель 96768 Україна, МПК(2015.01) A01C3/00. Змішувач-аератор компосту. Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. № u201410667. Заявл.29.09.2014. Опублік. 10.02.2015. Бюл. № 3, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано установку додаткової ємності з розпилювачами)*

55. Пат. на кор. модель 96769 Україна, МПК(2015.01) A01C3/00. Змішувач-аератор компосту. Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. № u201410672. Заявл.29.09.2014. Опублік. 10.02.2015. Бюл. № 3, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано установлювати додатковий фрезерний барабан від 0,5 до 0,8 ширини захвату основного)*

56. Пат. на кор. модель 96771 Україна, МПК(2015.01) A01C3/00. Змішувач-аератор компосту. Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. № u201410674. Заявл. 29.09.2014. Опублік. 10.02.2015. Бюл. № 3, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано висоту лопаті барабану рівною двом діаметрам)*

57. Пат. на кор. модель 97404 Україна, МПК(2015.01) A01C3/00. Машина для приготування компосту. Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. № u201411252. Заявл.15.10.2014. Опублік.10.03.2015. № 5, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано конструкцію активного подільника)*

58. Пат. на кор. модель 97403 Україна, МПК(2015.01) A01C3/00.Змішувач-аератор компосту. Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. № u201411256. Заявл.15.10.2014; опублік..10.03.2015. Бюл. № 5, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано висоту лопатей фрезерного барабану рівною 0,5 діаметру)*

59. Пат. на кор. модель 97407 Україна, МПК(2015.01)A01C3/00. Змішувач-

аератор компосту. Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. № u201411256. Заявл.15.10.2014. Опублік.10.03.2015. Бюл. № 5, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано конструкцію робочого органу з різальною кромкою)*

60. Пат. на кор. модель 97406 Україна, МПК(2015.01)A01C3/00. Змішувач-аератор компосту. Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. № u201411255. Заявл.15.10.2014. Опублік. 10.03.2015. Бюл. № 5,2015 р. *(Здобувачем запропоновано крок розміщення лопатей барабану)*

61. Пат. на кор. модель 97405 Україна, МПК(2015.01)A01C3/00 Змішувач-аератор компосту. Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. № u201411254. Заявл.15.10.2014. Опублік. 10.03.2015. Бюл. № 5, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано конструкцію трапеції дальньої лопати)*

62. Пат. на кор. модель 101426 Україна, МПК(2015.01)A01C3/00 Змішувач-аератор компосту. Опублік. 10.09.2015. *(Здобувачем запропоновано установку додаткового бокового барабана-ковша)*

63. Пат. на кор. модель 100929 Україна, МПК(2015.01) A01C3/00. Машина для приготування компосту. Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. № u201502827. Заявл. 27.03.2015. Опублік. 10.08.2015. Бюл. № 15, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано встановлення маніпулятора в кузові з керуванням від гідросистеми агрегату)*

64. Пат. на кор. модель 101427 Україна, МПК(2015.01) A01C3/00 Машина для приготування компосту. Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М., Ляшенко О.О. № u201502795. Заявл.27.03.2015. Опублік.10.09.2015. Бюл. № 18, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано встановлювати кузов на тензодатчиках)*

65. Пат. на кор. модель 101651 Україна, МПК(2015.01) A01C3/02(2006.01), C05F3/06(2006/01) Пристрій для подрібнення твердих органічних добрив. Павленко С.І., Пугач А.М. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М. № u201502780. Заявл.27.03.2015. Опублік. 25.09.2015. Бюл. № 18, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано конструкцію стінки робочої камери і рівняння її поверхні)*

66. Пат. на кор. модель 101239 Україна, МПК(2015.01) C05F3/06(2006.01), A01F12/00, A01C3/00. Мобільний пристрій для подрібнення твердих органічних добрив і формування буртів. Павленко С.І., Пугач А.М. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М. № u201503664. Заявл.17.04.2015. Опублік. 25.08.2015. Бюл. № 16, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано додатковий барабан по середині причепа, встановлений на висоті над поверхнею подавального транспортера)*

67. Пат. на кор. модель 101237 Україна, МПК A01C3/02(2006.01), C05F3/06(2006.01). Пристрій для подрібнення дрібних органічних добрив і формування бурта. Павленко С.І., Пугач А.М. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М. № u201503662. Заявл.17.04.2015. Опублік. 25.08.2015. Бюл. № 16, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано конструкцію барабанів-подрібнювачів з сегментними робочими органами, що сходяться до середини і розташовані по гвинтовій лінії)*

68. Пат. на кор. модель 101238 Україна, МПК A01C3/02(2006.01),C05F3/06(2006.01). / Пристрій для подрібнення твердих органічних добрив і формування бурта. Павленко С.І., Пугач А.М. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М. № u201503663. Заявл.17.04.2015;опубл.25.08.2015. Бюл. № 16, 2015 р. *(Здобувачем запропоновано*

боковини зі зміною висоти їх установи гідроциліндром)

69. Пат. на кор. модель 101240 Україна, МПК(2015.01) A01C3/00, C05F3/06(2006.01) Пристрій для подрібнення твердих органічних добрив з боковим формуванням бурта. Павленко С.І., Пугач А.М. Заявник і патентовласник Павленко С.І., Пугач А.М. № u201503665. Заявл.17.04.2015. Опублік. 25.08.2015. Бюл. № 16,2015р. *(Здобувачем запропоновано установку додаткового розвантажувального шнека)*

Матеріали конференцій

70. Павленко С.І. Технічні рішення в технологіях переробки органічних відходів тваринництва і рослинництва. Матеріали науково-практичної конференції .Природне агровиробництво в Україні і проблеми становлення, перспективи розвитку. (23–24 жовтня 2015). Дніпропетровськ, 2015. С. 73–75.

71. Павленко С.І. Дослідження процесів механізованого компостування підстилкового посліду на основі лушпиння соняшнику в натурних буртах. Матеріали XXV Міжнародної науково-технічної конференції. Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві та XVII Всеукраїнської конференції-семінару аспірантів, докторантів і здобувачів у галузі аграрної інженерії. (29–30 червня 2017). Глеваха, 2017. С. 28–29.

72. Павленко С.І. Обґрунтування системи машин для механізованого компостування органічних відходів тваринництва і рослинництва. Матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції – семінару аспірантів, докторантів і здобувачів у галузі аграрної інженерії. (03–04 липня 2018). Глеваха, 2018. С. 4.

73. Павленко С.І. Економічна результативність механізованого компостування твердих органічних відходів тваринництва і рослинництва. Збірник тез доповідей ХІХ Міжнародної наукової конференції. Сучасні проблеми землеробської механіки. МОН України. Національний університет біоресурсів і природокористування України. (17–19 жовтня 2018). Київ, 2018. С. 294–297.

74. Павленко С.І., Терещенко Д.В. Особливості експлуатації мобільного аератора-змішувача органічних відходів АЗК-2. Біоенергетичні системи в агропромисловому виробництві. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції . Біоенергетичні системи в агропромисловому виробництві. (15–16 листопада 2018). Житомир, 2018. С. 26–30. *(Здобувачем проведено узагальнення результатів роботи)*

75. Павленко С.І., Рабощук О.П. Обґрунтування необхідності використання органічних добрив. Біоенергетичні системи в агропромисловому виробництві. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. Біоенергетичні системи в агропромисловому виробництві. (15–16 лист. 2018). Житомир, 2018. С. 14–16 *(Здобувачу належить узагальнення отриманих результатів і висновки та обґрунтування методики дослідження)*

76. Павленко С.І. Організація механізованого компостування. Збірник тез доповідей ХХІV міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (17–19 жовтня 2023 року). Київ. 2023. С. 169–172.

77. Павленко С.І. Модельна схема операцій механізованого компостування. Матеріали конференції Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: ХІ Міжнародна науково-технічна конференція (2–20 жовтня 2023 р.). Глеваха–Київ. 2023. С. 147–151.

Статті в інших наукових виданнях України

78. Павленко С.І., Ляшенко О.О., Філоненко Ю.А. Модель аеробно-анаеробного процесу переробки сільськогосподарських відходів. Вісник

Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Вип. 2. Мелітополь, 2014. С. 114–125. *(Здобувачем запропоновані аналітичні залежності по розпаду органічної сировини і проведені розрахунки).*

79. Павленко С.І., Ляшенко О.О. Компостування гною свиней. Прибуткове свинарство. Вип. 4 (22). Серпень 2014. С. 28–33. *(Здобувачу належить узагальнення досвіду обробітку свинячого гною для одержання компосту).*

80. Голуб Г.А., Павленко С.І. Механізація компостування. Журнал «The Ukrainian Farmer». Вип. 4 (76). 2016. С. 148–150. *(Здобувачу належить узагальнення досвіду виробництва компостів).*

81. Павленко С.І., Ляшенко О.О., Філоненко Ю.А. Закордонні технології анаеробного перероблення органічних відходів. Журнал Техніка і технології АПК. Вип. 9 (60), 2014. С. 22–23. *(Здобувачу належить узагальнення по одержанню компостів в безкисневому середовищі).*

82. Павленко С.І., Ляшенко О.О., Філоненко Ю.А. Закордонні технології анаеробного перероблення органічних відходів. Техніка і технології АПК. Вип. 10 (61). 2014. С. 28–33. *(Здобувачу належить аналіз технічних рішень по виробництву органічних добрив).*

83. Голуб Г., Павленко С. Механізація виробництва компостів в аграрному виробництві. Техніка і технології АПК. Вип. 7 (82). 2016. С. 28–33. *(Здобувачу належить узагальнення технологічних і технічних рішень по виробництву компостів)*

АНОТАЦІЯ

Павленко С. І. Механіко-технологічне обґрунтування барабанно-лопатевих агрегатів для виробництва компостів.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» (133 – Галузеве машинобудування). – Національний університет біоресурсів і природокористування України Міністерства аграрної політики та продовольства України – Національний університет біоресурсів і природокористування України Міністерства аграрної політики та продовольства України – Київ, 2024.

Метою дослідження є підвищення ефективності виробництва компостів із органічної сировини агроєкосистем шляхом створення, наукового обґрунтування і впровадження комплексних технологічних і технічних рішень механізованого технологічного процесу прискореного компостування залишків рослинництва і тваринництва для одержання органічних добрив.

Розроблено узагальнену математичну модель процесу механізованого компостування органічних сумішей гною(посліду) з рослинною біомасою технічними засобами із лопатєво-барабанными робочими органами, яка визначає функціональний зв'язок між конструктивно-технологічними параметрами засобу (кількістю лопатей, кутовою швидкістю, площею стружки) та геометричними параметрами сформованого бурта компостної суміші (форма бурта, його висота і ширина).

Отримано закономірності процесу механізованого компостування компостної суміші технічними засобами із лопатєво-барабанными робочими органами, які описують вплив конструктивно-режимних параметрів (кількість і типи робочих органів, їх розташування, коефіцієнт завантаження і кінематичні коефіцієнти) на однорідність розподілу компонентів компостної суміші у сформованому бурті та показник його структурності.

Узагальнено і експериментально підтверджено математичну модель термічних процесів, які відбуваються під час прискореного механізованого компостування органічних сумішей з гною(посліду) та рослинної біомаси технічними засобами із лопатево-барабанними робочими органами.

Отримано подальший розвиток технології виробництва первинних компостів з гною(посліду) і рослинної біомаси з врахуванням екологічних, технологічних і технічних факторів механізованого виробництва.

Удосконалено систему машин механізованого процесу прискореного компостування органічних сумішей гною(посліду) і рослинної біомаси, що забезпечує раціональний склад технічних засобів при різних технологічних регламентах, якості і типу сировини, обсягах виробництва.

Ключові слова: добрива, компостна суміш, гній тварин, послід птиці, рослинна біомаса, бурт, змішування, аерація, процеси, компост, органічна сировина, агрокосистема, аератора-змішувач, модернізований розкидач органічних добрив, моделювання, експериментальні дослідження, параметри.

ABSTRACT

Pavlenko S. I. Mechanical and technological substantiation of drum-blade units for the production of composts.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.05.11 "Machines and Means of Mechanization of Agricultural Production" (133 – Branch Mechanical Engineering). – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine – Kyiv, 2024.

The purpose of the research is to increase the production and exploitation efficiency of composts from the organic raw materials of agroecosystems is based on creation, implementation and scientific substantiation of the technological and technical system solutions.

The study aims are: to substantiate perspective directions of technological processes and technical facilities improvement of mechanized composting from the organic materials of agrosystems; to develop mathematical models for the description of technological processes and technical facilities of compost production from the organic raw materials; to substantiate machines and equipment for compost production in the case of energy supply; to experimentally check mathematical models and optimize the indicators of technological process and technical facilities; to do production tests of the developed technological processes and technical facilities and to test technical and ecological assessment of the productive and economic efficiency.

The research object is the technological process of composts production from the organic raw materials of agroecosystems and the support technical facilities.

The study subject is the regularity between the interaction of the machines and devices and raw materials and finished products along with methods for their substantiation, physical-mechanical, thermophysical and agrochemical properties of organic mixtures and abstractions.

Research methods. System analysis, mathematical and physical modeling. The studies are based on the theory of complex systems, the theory of heat and mass transfer, the laws of mass and energy conservation. In experimental studies, data modeling methods, experimental design methodology, individual methods, standard measuring instruments, original laboratory installations and software were used in accounting and

statistical processing of the information obtained.

For the first time, a generalized mathematical model of the process of mechanized composting of manure-compost mixture by technical facilities with paddle-drum working bodies has been developed, which determines the functional relationship between the parameters of the means (number of blades, circular velocity, area of chips) and geometrical parameters (shape of the bead and shape) of the formed dung of compost mixture.

Mathematical models of the mechanized composting process of manure-compost mixture by technical facilities with milling-drum working bodies, which describe the influence of structural-mode parameters (number and types of working bodies, their location, loading index and kinematic index) - compost mixture in the formed pile and its structural index.

For the first time, the mathematical model of physico-chemical processes occurring during mechanized composting of manure-compost mixture by technical facilities with milling-drum working bodies was generalized and experimentally confirmed.

The mathematical model of the influence of the process parameters for preparation of the original manure-compost mixture on the quality of mixing (index of variation distribution of the manure-compost mixture components into the pile), grinding (the index of the pile structure), pile formation (height) was developed.

Further development and systematized technologies of primary composts production from the organic raw material have been obtained taking into account social, technological and technical factors of mechanized production.

Key words: fertilizers, compaction-compost mixture, pile, mixing, aeration, processes, compost, organic raw materials, agroecosystem, mixer aerator, modernized spreader of organic fertilizers.

Підписано до друку ???. 2024 р.
Формат 60x84/16, папір офсетний. 0.9
зам. № ????. Наклад 100