

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

Удосконалення технологічного процесу обробки підстилкового гною

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Баглай Артем Анатолійович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____ Потеруха Борис Тарасович

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Рівень вищої освіти: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Баглаю Артему Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технологічного процесу обробки підстилкового гною

керівник роботи: Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
« 12 » листопада 2024 року № 3784

2. Строк подання студентом роботи 16.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для обробки та переробки підстилкового гною. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз сучасних технологій і технічних засобів переробки гною сільськогосподарських тварин. 2. Теоретичні дослідження взаємодії робочих органів розпушувача з компостною масою. 3. Лабораторні дослідження взаємодії робочих органів розпушувача з компостною масою. 4. Охорона праці. 5. Економічне обґрунтування розробленої машини для прискореного компостування гною. Загальні висновки. Бібліографічний список

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (2 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (2 аркуші, А4) 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Дудін В.Ю., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 26.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2024 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2024 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2024р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2024 р.	
5	Економічний	до 26.11.2024 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2024р.	

Студент

(підпис)

Баглай А.А.

_____ .

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дудін В.Ю.

_____ .

(прізвище та ініціали)

Баглай А.А. Удосконалення технологічного процесу обробки підстилкового гною /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

У вступній частині дипломної роботи наведено обґрунтування актуальності досліджуваної теми, сформульовано основну мету та задачі роботи, а також описано використані методи дослідження. Проведений аналіз наукових і технічних аспектів проблеми дозволив визначити шляхи для досягнення поставленої мети та виконання задач. У другому розділі було здійснено теоретичне моделювання робочого процесу запропонованої конструкції розпушувача буртів компосту. Лабораторні дослідження підтвердили високу ефективність розробленого обладнання. Крім того, проведено оцінку конструкції з точки зору охорони праці та виконано економічне обґрунтування запропонованого рішення. На основі проведеного дослідження зроблені висновки та складено список використаних джерел.

Ключові слова: твердий гній, компостування, розпушувач, бурт, лопать.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПЕРЕРОБКИ ГНОЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН	10
1.1 Огляд технологій обробки та переробки гною	10
1.2 Огляд машин та технологій прискореного біокомпостування	15
1.3 Висновки по розділу	23
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ РОЗПУШУВАЧА З КОМПОСТНОЮ МАСОЮ	25
2.1 Конструктивно-технологічна схема розпушувача буртів	25
2.2 Теоретичні дослідження взаємодії робочих органів розпушувача буртів з компостної сумішшю	27
2.2.1 Кінематичний аналіз взаємодії барабанів з компостної сумішшю	27
2.2.2 Енергетичний розрахунок процесу обробки компостної суміші	37
2.3 Теоретична продуктивність розпушувача буртів	42
2.4 Висновки по розділу	43
3 ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ РОЗПУШУВАЧА З КОМПОСТНОЮ МАСОЮ	45
3.1 Програма лабораторних досліджень	45
3.2 Методика лабораторних досліджень	45
3.3 Методика обробки експериментальних даних	47
3.4 Результати лабораторних досліджень	50

3.5 Висновки по розділу	55
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	57
4.1 Загальні вимоги охорони праці при обробці та переробці гною	57
4.2 Розробка проекту інструкції з охорони праці при роботі аератором компостних буртів	58
4.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	61
4.4 Висновки по розділу	62
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ПРИСКОРЕНОГО КОМПОСТУВАННЯ ГНОЮ	63
5.1 Вихідні дані	63
5.2 Розрахунок показників економічної ефективності	65
5.3 Висновки по розділу	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
БІБЛІОГРАФІЯ	69
ДОДАТКИ	73

ВСТУП

Останнім часом в технології компостування застосовують машини, призначені для інших видів робіт (сільськогосподарських, будівельних, меліоративних). Однак, спеціальні особливості процесу приготування компостів не завжди дозволяють використовувати дані кошти ефективно і часто в їх конструкцію доводиться вносити зміни. Імпортні аналоги мають високу вартість і часто не адаптовані до природно-кліматичних умов нашої країни.

У той же час посилюються вимоги до охорони навколишнього середовища, вдосконалюється робота контролюючих органів - екологічних служб. Також, відступ від науково обґрунтованої системи ведення рослинництва з використанням органічних добрив привело за останні десятиліття до зниження родючості ґрунтів. Тому, вдосконалення технології виробництва компостів з розробкою та обґрунтуванням конструктивно-режимних параметрів розпушувача буртів є актуальною задачею.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ. Підвищення ефективності процесу приготування компостів шляхом обґрунтування конструкції і режимів роботи розпушувача буртів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести огляд технологій та засобів для переробки гною сільськогосподарських тварин;
- встановити теоретичні закономірності взаємодії робочих органів розпушувача буртів з компостній сумішшю і енергоємності процесу приготування компостів;
- провести експериментальні дослідження процесів взаємодії робочих органів розпушувача буртів з і обґрунтувати його оптимальні конструктивно-режимні параметри;
- провести аналіз розпушувача з точки зору охорони праці;
- виконати техніко-економічну оцінку технології отримання компосту за допомогою розробленої конструкції розпушувача в порівнянні з

традиційною.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ. Технологічний процес приготування компостів і технічне засіб його забезпечення.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ. Закономірності взаємодії робочих органів розпушувача буртів з компостної сумішшю.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ. У процесі теоретичних досліджень використовували методи математичного аналізу, теоретичної механіки, математичного та комп'ютерного моделювання розглянутих процесів.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПЕРЕРОБКИ ГНОЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН

1.1 Огляд технологій обробки та переробки гною

Обробка та переробка гною сільськогосподарських тварин є важливими аспектами сучасного сільського господарства, оскільки вона дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, підвищити ефективність використання ресурсів та отримати цінні продукти.

На сьогодні існує кілька технологій, що дозволяють ефективно управляти гноєм. Однією з найпоширеніших є компостування, процес, в якому гній разом із іншими органічними матеріалами піддається природному розкладу за участю мікроорганізмів. Це дозволяє отримати компост, багатий на поживні речовини, що може бути використаний як добриво.

Іншою технологією є анаеробне бродіння, при якому гній перетворюється на біогаз у безкисневих умовах. Цей процес дозволяє не тільки зменшити обсяг відходів, але й отримати енергію у вигляді метану, яка може використовуватися для опалення або генерації електрики.

Водяна обробка — це метод, що передбачає використання води для розчинення органічних часток гною, що дозволяє легше його транспортувати та переробляти. Також застосовується технологія сухого зберігання, де гній зберігається в умовах, що запобігають розпаду, що зменшує виділення неприємних запахів і шкідливих викидів.

Застосування технологій біологічного очищення є ще одним важливим напрямком, де спеціально підібрані мікроорганізми перетворюють гній на безпечні продукти, які можна використовувати в сільському господарстві або для отримання води. Всі ці технології сприяють ефективному використанню ресурсів, підвищуючи екологічну сталість аграрного виробництва.

Продовжуючи тему обробки та переробки гною сільськогосподарських тварин, важливо згадати про впровадження сучасних технологій, які допомагають оптимізувати процеси і знижувати екологічний вплив.

Одним із підходів є використання технологій термічної обробки. Цей метод передбачає нагрівання гною до високих температур, що не тільки знищує патогенні мікроорганізми, але й зменшує об'єм гною. Термальна обробка може включати піроліз або газифікацію, в результаті яких утворюються гази, які також можуть використовуватися для енергетичних цілей.

Крім того, важливою технологією є ферментація, яка дозволяє зменшити обсяг гною та підвищити його якість. Вона може проводитися як в аеробних, так і в анаеробних умовах, в залежності від кінцевих цілей. Під час ферментації можуть з'являтися корисні мікроорганізми, що сприяють росту рослин.

Також активно розвиваються системи інтеграції агрономії з технологіями обробки гною. Наприклад, біофільтри та системи обробки стічних вод дозволяють не лише очищати воду, а й повертати поживні речовини в агросистему. Завдяки цьому досягається замкнутий цикл, де відходи використовуються повторно, що зменшує потребу в хімічних добривах.

Не менш важливою є роль інформаційних технологій у моніторингу та управлінні процесами обробки гною. Системи «розумного» управління дозволяють оптимізувати витрати ресурсів, контролювати рівень забруднення та ефективно використовувати результати переробки.

Узагалі, інтеграція різноманітних технологій обробки та переробки гною створює можливості для досягнення сталого сільського господарства, яке забезпечує продуктивність, зменшує негативний вплив на навколишнє середовище і відповідає вимогам сучасного суспільства щодо безпеки та якості продуктів.

Продовжуючи розгляд технологій обробки та переробки гною, важливо також звернути увагу на економічні та екологічні аспекти впровадження цих

технологій. Економічна ефективність методів обробки гною значною мірою залежить від умов конкретного господарства, типу тварин, обсягу виробництва та доступності ресурсів.

Екологічні переваги, пов'язані з переробкою гною, є надзвичайно важливими. По-перше, ефективна обробка допомагає зменшити викиди парникових газів, які спричиняються розкладом органічних матеріалів. По-друге, зменшується ризик забруднення ґрунтових і поверхневих вод, оскільки правильно оброблений гній не містить небезпечних патогенів і зменшує вміст небезпечних речовин, таких як нітрати та фосфати.

Серед новітніх розробок в цій галузі можна виділити біотехнології, що дозволяють використовувати мікробні культури для покращення процесів переробки гною. Використання спеціально підібраних штамів мікроорганізмів може підвищити ефективність розкладу органічних сполук та сприяти виробництву біогазу, а також покращити якість кінцевих продуктів, таких як компост або органічні добрива.

Крім того, зростає інтерес до систем, що комбінують виробництво енергії з переробкою відходів. Наприклад, установки, що поєднують біогазові системи з когенераційними установками, дозволяють одночасно виробляти електричну і теплову енергію, підвищуючи загальну ефективність використання ресурсів.

Важливо також зазначити, що для успішного впровадження технологій обробки та переробки гною необхідна співпраця між фермерами, науковими установами, державними органами та приватними компаніями. Дослідження і розвиток нових технологій, навчання фермерів, а також державна підтримка в питаннях інвестування в екологічно чисті технології можуть значно прискорити процес переходу до сталого сільського господарства.

Біотермічне компостування гною — це технологія, що передбачає перетворення органічних відходів, зокрема гною сільськогосподарських тварин, у високоякісне органічне добриво за допомогою природних біологічних процесів. Цей процес відбувається завдяки активності

мікроорганізмів, які розкладають органічні речовини в умовах контролю температури та вологості.

Основні етапи біотермічного компостування гною включають:

Збір та підготовка матеріалів: Гній збирається і змішується з іншими органічними матеріалами, такими як солома, листя або інші відходи. Це допомагає забезпечити оптимальне співвідношення вуглецю і азоту, що необхідно для мікроорганізмів.

Біотермічний етап: На цьому етапі відбувається активний розклад органічних речовин, в результаті чого температура в купі компосту підвищується (часто до 55-70 °C). Висока температура сприяє знищенню патогенів, насіння бур'янів та шкідливих мікроорганізмів.

Дозрівання: Після стадії активного компостування відбувається поступове охолодження купи, а мікроорганізми продовжують працювати, перетворюючи залишки на стабільне органічне добриво. Цей етап може тривати від кількох тижнів до кількох місяців.

Завершення процесу: Готовий компост має однорідну структуру, темно-коричневий колір і приємний запах. Він багатий на поживні речовини і може бути використаний для підживлення рослин, покращення якості ґрунту та зменшення потреби в хімічних добривах.

Біотермічне компостування є екологічно чистим способом утилізації гною, оскільки воно не лише зменшує обсяг відходів, але й покращує якість ґрунту, сприяючи сталому сільському господарству. Ця технологія також може знизити викиди парникових газів, що робить її

Прискорене біотермічне компостування гною — це вдосконалена технологія компостування, яка сприяє швидшому перетворенню органічних відходів, таких як гній сільськогосподарських тварин, на якісне органічне добриво. Цей метод поєднує традиційні принципи компостування з сучасними технологіями, які оптимізують процеси розкладу, зменшуючи час, необхідний для отримання готового компосту.

Основні етапи прискореного біотермічного компостування:

Підготовка матеріалів: Для досягнення оптимального співвідношення вуглецю та азоту гній змішується з іншими органічними матеріалами, такими як солома, залишки рослин, або інші відходи. Це забезпечує правильну структуру та аерацію.

Контроль температури: Використовуються системи контролю температури, які дозволяють підтримувати оптимальні умови для активізації мікроорганізмів. Температура в компостній купі може досягати 60-70 °C, що стимулює швидке розкладання органічних матеріалів та знищує патогенні мікроорганізми.

Аерація: Для забезпечення ефективного окислення і активізації мікробної активності використовуються системи аерації. Це можуть бути механічні пристрої, які регулярно перевертають купу компосту, або спеціальні аераційні труби, що забезпечують постійний приплив повітря.

Вологість: Підтримання оптимального рівня вологості є критично важливим для біологічних процесів. Якщо матеріали занадто сухі, їх потрібно зволожувати, а якщо вологість занадто висока, необхідно забезпечити дренаж.

Швидке дозрівання: Завдяки активному контролю умов і використанню спеціально підібраних мікроорганізмів (іноді додаються інокулянти), компост дозріває значно швидше, ніж при традиційному компостуванні. Цей етап може тривати всього кілька тижнів.

Переваги прискореного біотермічного компостування:

Значно скорочує час, необхідний для отримання готового компосту, що дозволяє фермерам швидше використовувати добрива.

Готовий компост має високу поживну цінність і покращує структуру ґрунту.

Завдяки контролю процесів розкладу зменшуються неприємні запахи, що зазвичай супроводжують традиційне компостування.

Система знижує ризик викидів парникових газів і покращує санітарні умови на фермах. Прискорене біотермічне компостування є ефективним

рішенням для сучасного сільського господарства, яке прагне зменшити відходи, підвищити продуктивність і забезпечити екологічну стійкість.

1.2 Огляд машин та технологій прискореного біокомпостування

Прискорене біокомпостування органічних відходів вимагає використання сучасних машин і технологій, які здатні оптимізувати процес переробки та забезпечити високу якість кінцевого продукту — компосту. Основними функціями цих машин є аерація, перемішування, контроль вологості та температури, що дозволяє скоротити час компостування і підвищити його ефективність. Основні види машин для прискореного біокомпостування

Компостні аератори Компостні аератори відіграють ключову роль в оптимізації процесу компостування. Їх основне завдання — забезпечити постійне переміщення повітря через компостні бурти або купи, що активізує діяльність аеробних мікроорганізмів і пришвидшує розкладання органічної маси. Аератори бувають стаціонарними або мобільними, та можуть використовуватися на різних етапах компостування. Наприклад, Windrow Turner - мобільний аератор, що використовується для перемішування і аерації буртів компосту шляхом переміщення компостної маси через спеціальні лопаті. Це обладнання забезпечує хорошу аерацію та рівномірне змішування матеріалу.

Трактори з навісним обладнанням Сучасні трактори можуть бути оснащені спеціальними навісними пристроями для перемішування компостної маси, що значно прискорює процес розкладання органічних відходів. Вони дозволяють перемішувати великі об'єми органічної маси з відносно невеликими витратами часу та енергії. Наприклад: Bobcat з навісними компостерами - трактор з навісним обладнанням для перемішування компосту, яке ефективно аерує матеріал та забезпечує рівномірну вологість.

Роторні компостери Роторні компостери забезпечують інтенсивне перемішування компостної маси в закритих умовах. Вони оснащені барабаном, який обертається і механічно перемішує відходи, забезпечуючи максимальне збагачення компосту киснем та прискорюючи процес розкладання. Наприклад: Троммель компостер - барабанна машина для аерації, що дозволяє швидко перемішувати компостну масу і прискорювати процес розкладання органіки завдяки постійній аерації.

Автоматичні системи компостування Автоматизовані компостувальні системи контролюють і керують усіма параметрами процесу, такими як температура, вологість, рівень кисню та процес перемішування. Це дозволяє створити оптимальні умови для прискореного компостування у великих масштабах. Наприклад: Система Gore® Cover - автоматична система компостування, яка включає контроль температури і вологісного режиму під спеціальними мембранами, що допомагає прискорити процес біокомпостування та покращити якість компосту.

Більшість розроблених на сьогоднішній день вітчизняних і зарубіжних технологій приготування компостів на відкритих майданчиках базуються на використанні мобільних технічних засобів механізації процесу.

В технологіях приготування компостів використовують навантажувачі безперервної дії ПНД-250, змішувачі-аератори СА-100, грейферні та фронтальні навантажувачі, причепи-гноєрозкидачі типу РОУ і ПРТ, ворушилки буртів (Turner Windrow Machine) та ін..

Класифікація мобільних технічних засобів для компостування органічної сировини в буртах на відкритих майданчиках представлена на рис. 1.1.

Технологію приготування компостів з використанням фронтальних та грейферних навантажувачів в обсязі до 40 тис. т в рік, або 100...110 т на добу, застосовують на щільно утрамбованих ґрунтових майданчиках [29]. Технологія приготування компостів на ґрунтовій майданчику передбачає виконання наступного комплексу робіт: транспортування і подачу на

змішування торфу, вапняних добрив, посліду або гною; перемішування пошарово покладених компонентів з одночасною перевантаженням отриманої компостної суміші, транспортування та формування її в бурти; аерацію суміші в буртах. Дані операції технологічного процесу, можливо, проводити з використанням грейферного навантажувача ПЕ-0,8 Б або фронтального навантажувача ПФП-1,2, але при цьому не досягається висока ступінь однорідності маси - нерівномірність перемішування компонентів при бульдозерній технології досягає 45-50%, терміни дозрівання компостів більше 3-х місяців у літній час і більш 6 місяців в інший час року.

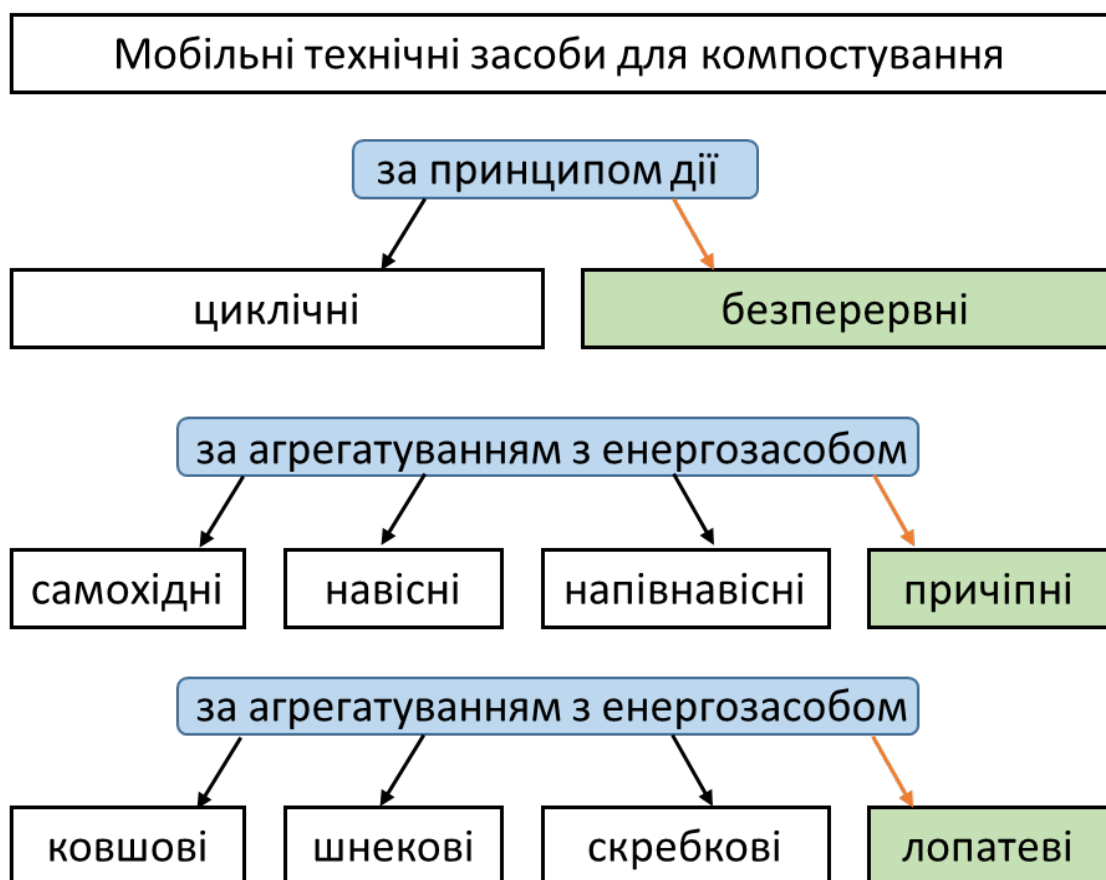


Рисунок 1.1 – класифікація ворушилок компосту

Для приготування компостної суміші з пошарово покладених компонентів використовують навантажувач безперервної дії ПНД-250 або створенана його основі машини для приготування компостів МПК-Ф-1.

За даними нерівномірність перемішування за допомогою ПНД-250 досягає 25 % і більше, що різко відбивалося на процесі біотермічного знезараження. Так, у буртах з задовільною гомогенністю і пухким режимом компостування середня температура суміші через два тижні досягає 40°C і тримається на цьому рівні два місяці. У буртах з незадовільною однорідністю суміші - 29°C, відзначено через п'ять тижнів.

Таким чином, в технології з використанням ПНД - 250 не вдається отримати високоякісну органічну масу, внаслідок хаотичної закладки компонентів суміші і низької якості перемішування.

На початку 90-х років випуск ПНД-250 ВАТ «Уманьферммаш», Україна, було зупинено, у зв'язку з чим виникла проблема розробки високопродуктивної техніки і технологій приготування органічних добрив, які забезпечують високу їх якість.

Технологія приготування компостів з використанням мобільних ворушилок буртів (Turner Windrow Machine) широко розповсюджена в США і країнах Західної Європи, і зводиться до наступних основних операцій:

- збір компонентів компостних сумішей на майданчиках з твердим покриттям з угрупованням куп рядами;
- прохід ворушилки буртів уздовж рядів з одночасним подрібненням, перемішуванням і формуванням бурту заввишки, в залежності від типу машини, від 1,5 до 3,5 м:
- компостування суміші в буртах при температурі 54...65°C, з контролем температурного режиму за допомогою дистанційних термометрів;
- при зниженні температури нижче позначки 53°C проводять перемішування буртів машиною, при цьому вуглекислий газ в масі компосту заміщається киснем повітря, що призводить до інтенсифікації біотермічних процесів і температура знову підвищується;
- дозрівання і зберігання готового компосту здійснюється в буртах на майданчиках до моменту його використання.

Розрізняють два способи формування буртів: по ходу руху агрегату і бічним підрізанням компостної суміші з подальшим перекиданням маси на протилежний бік бурту від траєкторії руху машини.

Процес формування буртів по ходу руху машини здійснюється агрегатуваними і самохідними ворушилками, рис. 1.2.

Причіпні і самохідні ворушилки буртів випускають наступних основних модифікацій: модель Turner Windrow AS 26-38 компанії ALLU (Фінляндія), моделі «King of the Windrow» KW408-818 компанії Resource Recovery Systems of Nebraska, Inc (США), моделі SPB 820 компанії Wildcat Manufacturing Co (США), моделі BACHHUS 15.36-5.65, 11.30, компанії BACHHUS Eco Engineers (Німеччина), моделі СТ65 компанії Double T Equipment Manufacturing Ltd (Канада).

Самохідна ворушилка буртів, рис. 1.3, являє собою П-подібну раму, з встановленим на ній двигуном, ходовою частиною та робочим органом, у вигляді обертового ротора. Основна різниця між модифікаціями полягає в габаритних розмірах рами машини, від чого залежить максимальна висота створюваного бурту.

В якості робочого органу застосовуються горизонтальний зубчастий ротор у вигляді валу з встановленими по центру лопатками і сходяться до них з обох сторін гвинтовими навивками. Діаметр ротора від 0,7 до 1,6 м. Випускаються машини на колісному і гусеничному ході. Продуктивність самохідних ворушилок буртів становить 500 до 6800 т/год.

Робочий процес машини полягає в наступному: за заздалегідь сформованими купами з компонентів компостних сумішей проходить ворушилка буртів. Гвинтові навивки робочого органу зрушує масу до центру машини на зубчастий барабан, який в свою чергу підбирає, подрібнює і викидає матеріал у бурт на майданчик позаду машини. Обсягу компостної суміші повинно бути достатньо для формування бурта заданих технічною характеристикою машини розмірів. Операцію повторюють до тих пір, поки вся маса не досягне

однорідності змішування, а бурт не прийме правильну трикутну форму в перерізі.



Рисунок 1.2 – Технологія приготування компостів по ходу руху ворущилки буртів: а - агрегатуються; б - самохідної



Рисунок 1.3 - Загальний вигляд самохідної ворушилки буртів

Технологічний процес приготування компостів при бічному підрізання буртів аналогічний попередньому, з тією відмінністю, що новий бурт формується з іншого боку від напрямку руху машини. Обсяги переробки органічної сировини за даної технології знаходяться в широких межах і залежать від марки вживаного технічного засобу, розмірів майданчика і кліматичних умов.

Машини з боковим підрізанням бурту також випускаються в навісному варіанті і можуть бути встановлені на задню навіску трактора. Продуктивність навісних машин з боковим підрізанням бурту становить 300...500 т/год. Продуктивність самохідних машин до 2000 т/год. По виду робочого органу розрізняють дискові фрези і циліндричні ротори з ножами. Самохідна ворушилка буртів бічного підрізання з двома циліндричними похилими роторами представлений на рис 1.4.

При русі машини вздовж бурту обертаються похилі ротори впроваджуються в бічну грань бурту на глибину до 1 м і висотою до 3 м. Відокремлений від бурту матеріал підхоплюється похилим стрічковим транспортером і перекидається на майданчик по іншу сторону від ходу руху машини, при цьому утворюється новий бурт висотою до 3 м. Робоча швидкість машини до 5 км/год, транспортна - до 25 км/год.



а



б

Рисунок 1.5 - Загальний вигляд ворушилки буртів бічного підрізання (а) і технологічний процес обробки компостної суміші (б)

Привід роторів здійснюється від гідромоторів. Двигун шестициліндровий турбодизель номінальною потужністю 209 кВт. Перевагою технологій з використанням самохідних ворушилок буртів є висока продуктивність до 6800 т/год і можливість формування буртів, що мають великий поперечний переріз з висотою до 3,5 м, що дозволяє підвищити

використання корисної площі під компостування. До недоліків цих технологій можна віднести високі капітальні витрати на будівництво майданчиків з твердим покриттям, високу матеріаломісткість і вузьку спеціалізацію технічних засобів, спрямовану на підприємства, що спеціалізуються на випуску органічних добрив.

Таким чином, аналіз сучасного стану технологій і технічних засобів приготування компостів в буртах на відкритих майданчиках показав, що найбільш перспективними машинами є самохідні та причіпні ворушилки буртів, проте в даний час відсутня вітчизняне промислове виробництво подібних технічних засобів.

До недоліків конструкції самохідних і причіпних ворушилок буртів слід віднести П-подібну форму рами, стримуючу збільшення висоти формованого бурту. Даний недолік відсутній у елеваторних машин, проте робочий орган у вигляді зубчастої металевої стрічки даних технічних засобів поступається за показниками надійності і матеріаломісткості лопатевим барабанів.

1.3 Висновки по розділу

На підставі проведеного аналізу існуючих технологій і технічних засобів переробки гною, приготування компостів в буртах на відкритих майданчиках можна зробити наступні висновки:

1. Компостування є одним з поширених способів переробки гною в органічне добриво, що пов'язано з порівняльною простотою процесу, низькими енерго- і трудовитратами.

2. Для виконання процесів підготовки сумішей і їх обробки на відкритих майданчиках найбільш перспективними є самохідні та причіпні розпушувачі буртів, як найбільш високопродуктивні і технологічні, що дозволяють реалізувати поточно-безперервний спосіб виробництва органічних добрив, але в даний час відсутнє вітчизняне промислове виробництво подібних технічних засобів.

3. Існує необхідність визначення і уточнення параметрів сходу частинок з лопатей барабанів, теоретичного опису процесу взаємодії барабанів між собою в процесі переміщення компостній маси, енергетичних показників робочого процесу барабанів.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ РОЗПУШУВАЧА З КОМПОСТНОЮ МАСОЮ

Теоретичні дослідження процесу взаємодії робочих органів розпушувача буртів з компостної сумішшю спрямовані на встановлення основних функціональних залежностей між конструкційними параметрами, швидкісними режимами роботи розпушувача буртів і фізико-механічними властивостями матеріалу.

2.1 Конструктивно-технологічна схема розпушувача буртів

На рис. 2.1 представлена конструктивно-технологічна схема розпушувача буртів. Складовими частинами розпушувача буртів, згідно з конструктивно-технологічною схемою, є наступні основні елементи: рама зварної конструкції з парою опорних коліс, оснащена пристроями зчипки в робочому і транспортному положеннях.

До рами кріпиться редуктор і робочі органи. Робочі органи являють собою п'ять барабанів, конструкція яких аналогічна конструкції барабанів причепа-гноєрозкидача, що представляють собою сталеві труби на яких встановлені лопаті, що мають зубчасту крайку. Лопаті барабанів-подрібнювачів призначені для подрібнення, перемішування, збагачення матеріалу киснем повітря і його подання до верхнього барабану.

На п'ятому верхньому барабані лопаті являють собою дві зустрічні гвинтові навивки, що сходяться в центрі. Верхній барабан обертається з більшою частотою, ніж інші і призначений, головним чином, для групування маси від периферії до центру та формування рівномірного насипу бурта при її розвантаженні.

Привід робочих органів здійснюється від ВОМ трактора, за допомогою двох карданних валів, редуктора і системи ланцюгових передач.

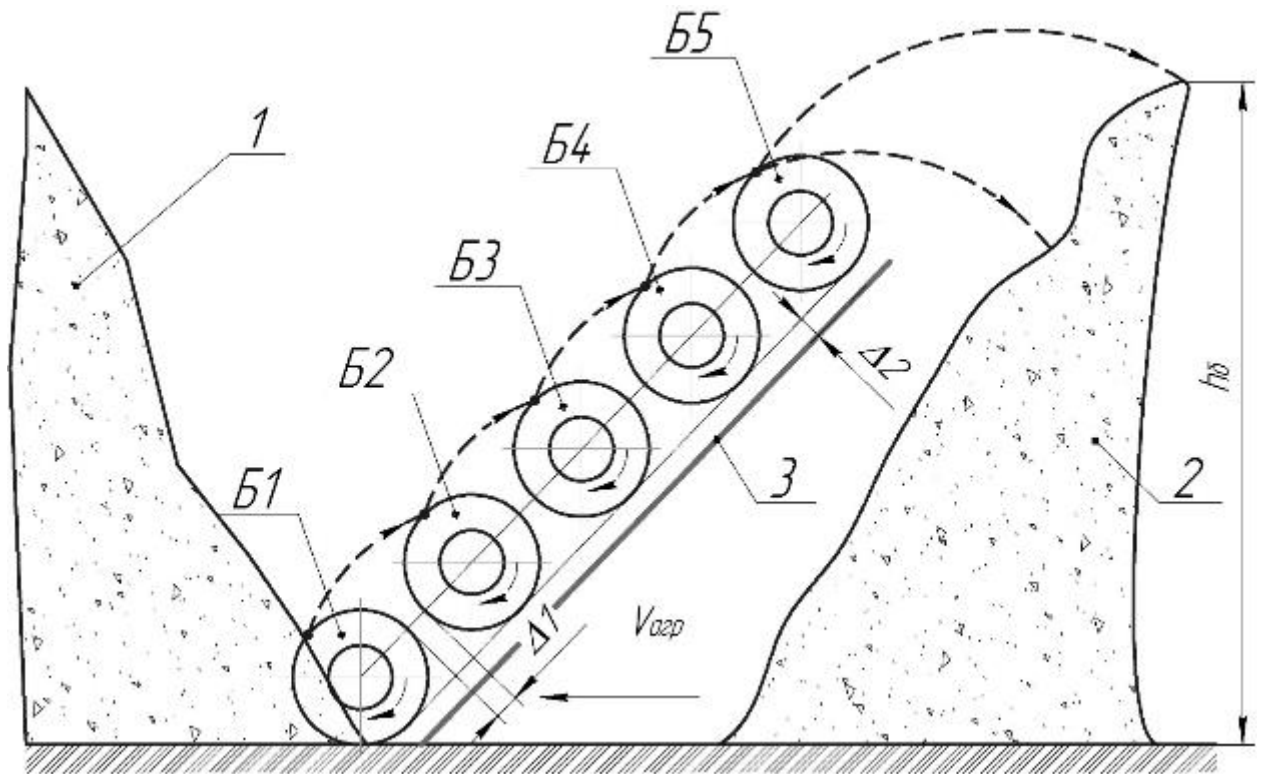


Рисунок 2.1 - Конструктивно-технологічна схема розпушувача буртів: 1 - компостований матеріал до обробки розпушувачем буртів; 2 - компостований матеріал після обробки розпушувачем буртів; 3 - піддон; Б1, Б2, Б3, Б4 і Б5 - барабани розпушувача буртів; h_6 - висота бурта

Розпушувач буртів здійснює перемішування органічної сировини і його аерацію в технології компостування на відкритих майданчиках в буртах. Даний процес сприяє усуненню анаеробних зон в компостованому матеріалі, поліпшення дифузії кисню в бурт, випаровування надлишкової вологи, видалення діоксиду вуглецю і надлишкової теплоти, що в підсумку забезпечує скорочення термінів мікробіологічної переробки гною.

2.2 Теоретичні дослідження взаємодії робочих органів розпушувача буртів з компостної сумішшю

При розробці моделей взаємодії робочих органів розпушувача буртів з компостної сумішшю ввели наступні допущення:

- компостований матеріал надходить на барабани безперервно;
- вологість і щільність компостної суміші приймаємо постійними, а її склад однорідним;
- опором вітру при русі частинок між барабанами нехтуємо;
- область захоплення матеріалу другим, третім, четвертим і п'ятим барабанами, рис. 2.1, здійснюється у другій і третій координатній чверті.

2.2.1 Кінематичний аналіз взаємодії барабанів з компостної сумішшю

Розпушувач буртів виконує наступні операції: забір матеріалу з бурту, його подрібнення, перемішування, механічну аерацію і формування нового бурту з заданими розмірами. Здійснення робочого процесу розпушувача полягає у взаємодії робочих органів з оброблюваним матеріалом. Перший барабан відокремлює від бурту компостної суміші порцію матеріалу і переміщує її на другий барабан. У момент виходу лопаті першого барабана з бурту, починається його ковзання по лопаті і поступовий схід.

При цьому частинки матеріалу в момент відриву від лопаті набувають швидкість вильоту, значення і напрямок якої визначається значенням і напрямком колової і радіальної швидкостей сходу матеріалу. Напрями і

значення швидкості вильоту забезпечують певний вид траєкторії польоту частинок.

Схід матеріалу триває протягом деякого проміжку часу, який визначається кутом закінчення сходу матеріалу. В момент закінчення сходу матеріалу частинки набувають абсолютну швидкість вильоту. Відокремлена від бурту маса, з постійним підпором, спрямовується на другий барабан. Траєкторія початку сходження матеріалу з першого барабана подається в координатну чверть II другого барабана, координатна система якого повернута відносно координатної системи першого барабана, а траєкторія закінчення сходу - в координатну чверть III.

Таким чином, траєкторії прагнуть зайняти область в межах заданих меж, з максимальним розбіжністю («віялом» траєкторій) не більше. Після виходу лопатей другого барабана з області захоплення, відбувається виліт частинок, за принципом, схожим з вильотом в період сходження на першому барабані.

Процеси взаємодії барабанів з компостованим матеріалом, на ділянках захоплення і сходу маси на третьому, четвертому і п'ятому барабанах здійснюються за принципом, схожим з захопленням і сходом на другому барабані. Подальше переміщення матеріалу від барабана до барабана супроводжується перемішуванням і подрібненням за рахунок накладення траєкторій частинок і їх взаємодії з поверхнею лопатей, що призводить до зниження об'ємної щільності матеріалу, приблизно на 20-30% від первісної. Враховуючи дані процеси доцільно забезпечити взаємодію другого, третього, четвертого і п'ятого барабанів подібним взаємодії першого і другого барабанів з умовою збільшення продуктивності кожного наступного барабана.

З п'ятого барабана траєкторії руху частинок виходять за межі розпушувача і забезпечують утворення бурту трикутного поперечного перерізу, з кутом нахилу бічних поверхонь, рівному куту природного скосу матеріалу. При цьому траєкторію початку сходу з п'ятого барабана доцільно направляти таким чином, щоб забезпечувалася найбільша висота бурту. Таким

чином, метою кінематичного аналізу робочого процесу розпушувача буртів є знаходження конструктивно-режимних параметрів, які забезпечать задані траєкторії руху частинок.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити схему взаємодії робочих органів розпушувача буртів з компостній сумішшю;
- теоретично дослідити процес сходу компостованого матеріалу з лопатей барабанів;
- визначити рівняння траєкторій руху частинок з барабанів;
- визначити оптимальні конструктивно-режимні параметри барабанів і розпушувача буртів в цілому відповідно до прийнятої схеми взаємодії робочих органів.

Система діючих на частку сил в момент сходу в деякій точці А, визначеної значенням кута положення лопаті відносно горизонталі, представлена на рис. 2.2. Від початку сходу і до моменту його закінчення вильоту частинок сприяє сила інерції $F_{інА}$, а її дії перешкоджають складова сили тяжіння $P_{nА}$, а також сила тертя $F_{m.nА}$.

Умова сходження частинок з лопаті

$$\vec{F}_{інА} \geq \vec{F}_{m.nА} + \vec{P}_{nА}, \quad (2.1)$$

Проектуючи діючі сили на вісь $Ін$, отримали вираз

$$F_{інА} \geq F_{m.nА} + P_{nАін}, \quad (2.2)$$

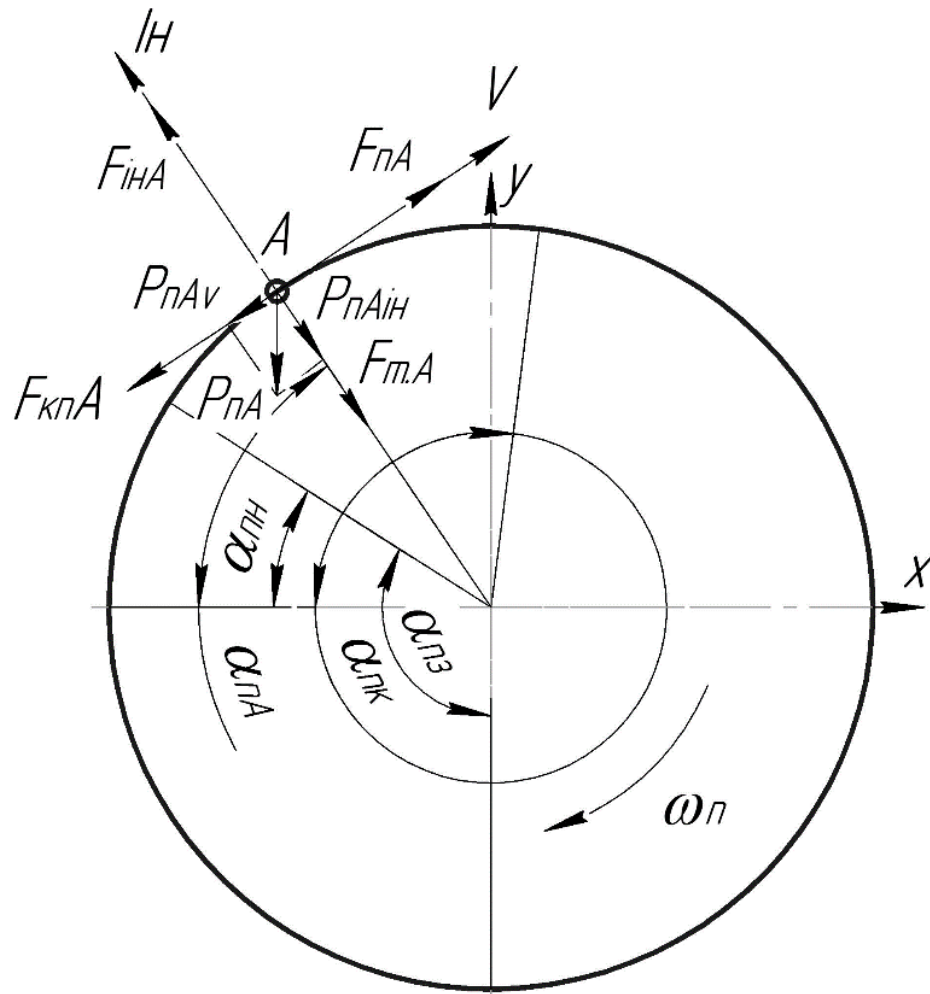


Рисунок 2.2 - Схема сил, діючих на частинку в момент сходу

Вирази для визначення складових формули (2.2):

- сила інерції $F_{inA} \geq m_n r_o \omega_n^2$;

- сила тертя $F_{m.nA} \geq \mu N_{nA}$,

де μ - коефіцієнт тертя матеріалу по лопаті;

N_{nA} - сила нормальної реакції, $N_{nA} = F_{knA} + P_{nAv}$;

F_{knA} - сила Кориоліса, $F_{knA} \geq 2m_n r_o \omega_n v_{rAn}$;

v_{rAn} - радіальна швидкість у момент сходу матеріалу, визначається точ-

кою А на кола обертання на п-му барабані, м/с;

P_{nAv} - проекція сили тяжіння на вісь v , $P_{nAv} = P_{nA} \cos \alpha_{nA}$;

P_{nA} - сила тяжіння $P_{nA} = m_n g$;

g - прискорення вільного падіння;

P_{nAin} - проекція сили тяжіння на вісь In , $P_{nAin} = P_{nA} \sin \alpha_{nA}$.

Таким чином, вираз (2.2) запишеться у вигляді

$$m_n r_{\bar{o}} \omega_n^2 \leq \mu (m_n g \cos \alpha_{nA} + 2m_n \omega_n v_{rAn}) + m_n g \sin \alpha_{nA}, \quad (2.3)$$

Беручи співвідношення (2.3) у вигляді рівності, визначаємо максимальне значення радіальної складової швидкості вильоту частинки, показаної на рис. 2.3,

$$v_{rAn} = \frac{r_{\bar{o}} \omega_n^2 - \mu g \cos \alpha_{nA} - g \sin \alpha_{nA}}{2\mu \omega_n}, \quad (2.4)$$

Підставляючи в формулу (2.4) значення, що відповідають умовам і режимам роботи барабанів, в моменти початку та закінчення сходження частинок з лопатей, можна визначити значення радіальної швидкості.

Кут початку сходження на барабанах:

- для першого барабана

$$-\alpha_{1n} = \frac{\sqrt{r_{\bar{o}}^2 - (r_{\bar{o}} - S_z)^2}}{r_{\bar{o}}}, \quad (2.5)$$

- для другого, третього і четвертого барабанів значення кутів початку сходження брали відповідно до допущеннями за умови кута захвату матеріалу.

Кут закінчення сходу на барабанах визначали за формулою

$$\alpha_{нк} = \alpha_{нн} + \omega_n t_{сх.н}, \quad (2.7)$$

де $\omega_n t_{сх.н}$ - кут сходження на барабані n ,

Значення швидкості вильоту в площині обертання n -го барабана в момент сходу матеріалу, що визначається точкою А, знаходили з урахуванням поправки на осьову швидкість руху матеріалу вздовж горизонтальної осі геометричним підсумовуванням її радіальної (2.4) та колової $v_k = r_o \omega_n$ складових

$$v_{0An} = \sqrt{\frac{v_{rAn}^2 + v_r^2}{1 - \sin^2 \beta \cos^2 \beta}}. \quad (2.8)$$

де β - кут нахилу лопаті до площини, перпендикулярній площині обертання, рад.

Кути швидкості вильоту v_{0An} щодо колової швидкості v_k і щодо горизонталі, представлені на рисунку 2.3, у момент сходу визначали за формулами

$$\psi_{An} = \arctg \left(\frac{v_{rAn}}{v_k} \right), \quad (2.9)$$

$$\alpha_{0An} = 90^0 - \alpha_{na} + \psi_{An}. \quad (2.10)$$

де ψ_{An} - кут відхилення абсолютної швидкості відносно колової у момент сходу матеріалу, що визначається точкою А на кола обертання на n -му барабані, град;

α_{0An} - кут відхилення абсолютної швидкості відносно горизонтальної лінії в момент сходу матеріалу, що визначається точкою А на колі обертання на n -ом барабані, град.

Після сходу частинок з барабана лопаті в процесі польоту на неї діють сила ваги P і сила опору повітряного середовища, що знаходиться у квадратичній залежності від швидкості польоту, рис. 2.4,

$$\vec{R}_c = k_{II} m v_{II}^2, \quad (2.11)$$

де k_{II} - коефіцієнт парусності частинки, m^{-1} ,

$$k_{II} = \frac{g}{v_{em}}, \quad (2.12)$$

v_{em} - критична швидкість витання часток, м/с;

v_{II}^2 - швидкість польоту частинок, м/с.

Система діючих сил, що прикладені до частинки під час польоту,

$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{R}_c,$$

$$m\vec{a} = m\vec{g} + k_{\Pi}mv_{\Pi}^2,$$

$$m\vec{a} = m\vec{g} + k_{\Pi}mv_{\Pi}^2. \quad (2.13)$$

Вираз (2.13) в диференціальній формі

$$\frac{d^2}{dt_{\Pi An}^2}\vec{r} = \vec{g} + k_{\Pi}\left(\frac{d^2}{dt_{\Pi An}^2}\vec{r}\right)^2, \quad (2.14)$$

де \vec{r} - радіус вектор рухомої частинки, м;

$t_{\Pi An}$ - час польоту частинки з лопаті n -го барабана, с.

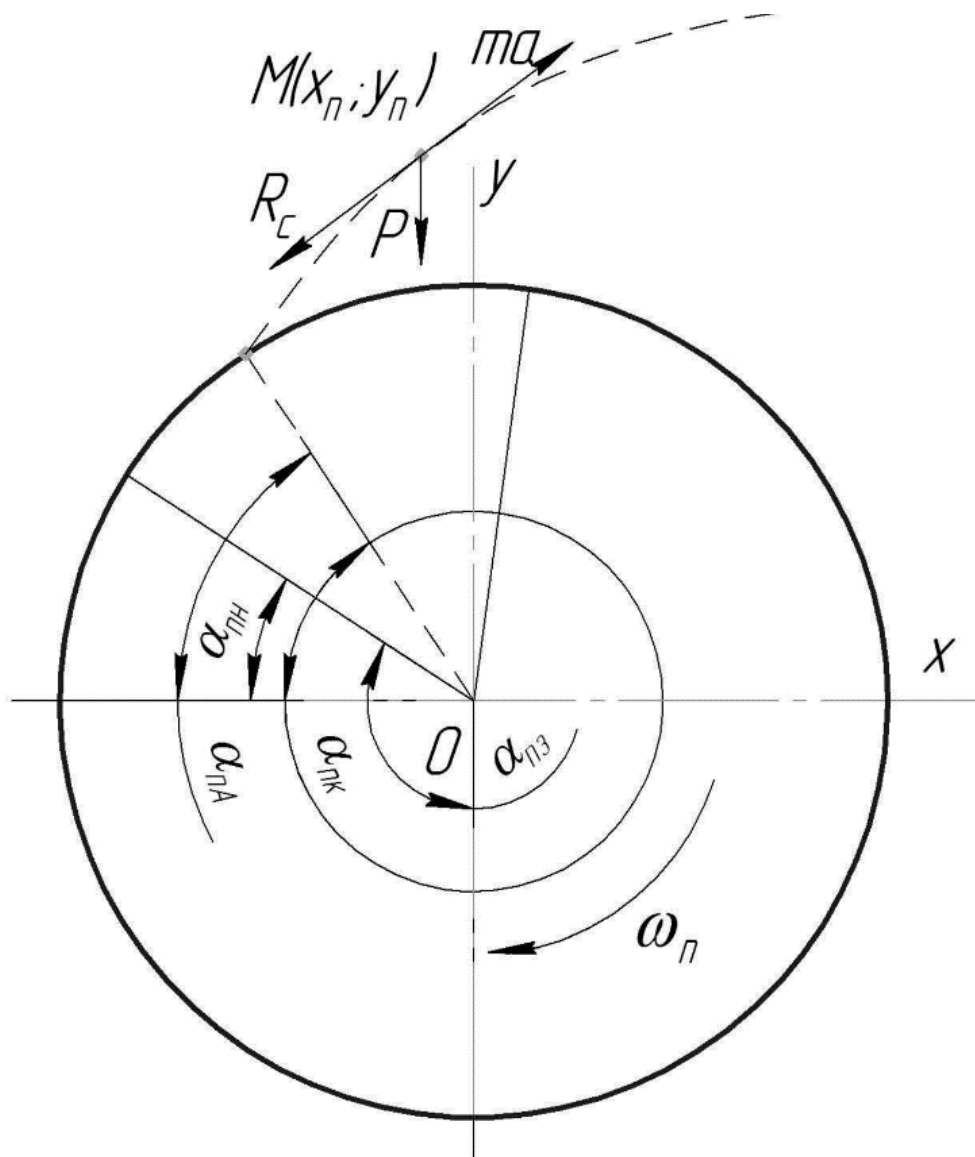
Проекція складових рівняння (2.14) на координатні осі

$$\frac{d^2}{dt_{\Pi}^2}x_{An} = k_{\Pi}\left(\frac{d^2}{dt_{\Pi An}^2}x_{An}\right)^2, \quad (2.15)$$

$$\frac{d^2}{dt_{\Pi}^2}y_{An} = k_{\Pi}\left(\frac{d^2}{dt_{\Pi An}^2}y_{An}\right)^2, \quad (2.16)$$

Відокремлюючи змінні та інтегруючи отримані диференціальні

рівняння, визначили закони руху частинок під час польоту для кожного з барабанів вздовж базової координатної системи xOy , проведеної через центр обертання першого барабана.



Малюнок 2.4 - Схема сил, діючих на частинку під час польоту

Отримані рівняння руху частинок, з урахуванням початкових параметрів польоту, з урахуванням часу руху частинок дозволили здійснити моделювання процесів руху частинок на ділянках, розташованих між зонами сходу і прийому частинок на барабанах.

2.2.2 Енергетичний розрахунок процесу обробки компостної суміші

Основні витрати потужності робочих органів пов'язані зі здійсненням ними відповідної роботи на подолання моментів від сил опору в площині обертання, витрат енергії на виліт частинок з лопатей барабанів, а також роботи на подолання сил інерції.

Вираз для визначення сумарної потужності на привід робочих органів можна представити в наступному вигляді:

$$N = N_c + N_p + N_g + N_{in} \quad (2.17)$$

де N_c - потужність, що витрачається на подолання робочими органами сил опору, кВт;

N_p - потужність, необхідна на подолання опору від сили тяжіння, кВт;

N_g - потужність, необхідна для надання лопатями барабанів частинкам матеріалу кінетичної енергії вильоту, кВт;

N_{in} - потужність, необхідна на подолання сил інерції барабанів, кВт.

Потужність на подолання сил опору розраховували за формулою

$$N_c = \sum_{n=1}^5 N_{cn} \quad (2.18)$$

де N_{cn} - потужність на подолання сил опору на n -му барабані.

Основна частка потужності на першому барабані витрачається на подолання сил опору зминання матеріалу і його зсуву. Формула для визначення витрат потужності на першому барабані запишеться у вигляді

$$N_{c1} = (N_{зм} + N_{зс}) z_1, \quad (2.19)$$

де $N_{зм}$ - потужність на зминання матеріалу, кВт;

$N_{зс}$ - потужність на зсув матеріалу в бурти, кВт;

z_1 - кількість лопатей на першому барабані, що йдуть по різному сліду.

Потужність на подолання опору від того, що зім'яло матеріалу визначали відповідно до виразу

$$N_{зм} = F_{Пзм} v_{l1}, \quad (2.20)$$

де $F_{Пзм}$ - проекція сили зминання на площину обертання, кН;

v_{l1} - швидкість руху точки лопаті по траєкторії l_1 , м/с,

Проекція сили зминання матеріалу на площину обертання запишеться у вигляді

$$F_{Пзм} = F_{зм} \sin \beta, \quad (2.21)$$

де $F_{зм}$ - сила зминання матеріалу, кН,

$$F_{зм} = \delta_{зм} S_{зм}, \quad (2.22)$$

де $\delta_{зм}$ - нормальне напруження зминання матеріалу, кПа;

$S_{зм}$ - площа зминання, м²,

Потужність, необхідну для зсуву матеріалу в бурті визначали за виразом

$$N_{zc} = F_{zc} v_{l1}, \quad (2.23)$$

де F_{zc} - сила зсуву матеріалу, кН.

Силу, яку необхідно прикласти для зсуву матеріалу в бурті, розраховували за формулою

$$F_{zc} = \tau_{zc} S_{zc}, \quad (2.24)$$

де τ_{zc} - дотичне напруження зсуву матеріалу, кПа;

S_{zc} - площа зсуву, м².

Потужність на подолання опору сили тяжіння визначали за формулою

$$N_P = \sum_{n=1}^5 \frac{A_p}{t_{os}}, \quad (2.25)$$

де A_p - робота, яка витрачається лопатями n -го барабана на подолання опору сили тяжіння, кДж;

t_{os} - проміжок часу дії сили опору ваги, с.

Роботу на подолання моменту опору від дії сили тяжіння визначали за формулою

$$A_p = \int_{\alpha_1} M_p \cdot d\alpha_1 \quad (2.26)$$

де M_p - момент опору від дії складової сили тяжіння по нормалі до лопатки, кН-м;

αl - кут положення деякої точки на краю лопаті, відлічуваний від горизонталі, в довільний момент часу t .

Даний кут знаходиться: на першому барабані в межах кута взаємодії з буртом, на другому, третьому, четвертому і п'ятому барабанах - в межах кута захвату.

Потужність, необхідну для надання часткам кінетичної енергії вильоту визначали за формулою

$$N_P = \sum_{n=1}^5 \frac{A_n}{t_n}, \quad (2.27)$$

де A_n - робота, яку необхідно здійснити лопатям n -го барабана для вильоту частинок, кДж;

t_n - час сходу частинок з i -го барабана, с.

Для вильоту частинок з лопаті необхідно зробити роботу, рівну кінетичній енергії вильоту, тобто

$$A_n = \frac{1}{2} m_n v_{0n}^2 z_n \cdot 10^{-3}, \quad (2.28)$$

де v_{0n}^2 - середня швидкість вильоту матеріалу з лопаті n -то барабана, м/с;

m_n - маса матеріалу, виліт якої з лопаті n -то барабана здійснюється за проміжок часу сходу, кг.

З урахуванням виразів (2.28) потужність, необхідну для надання часткам матеріалу кінетичної енергії вильоту визначали за формулою

$$N_P = \sum_{n=1}^5 \frac{m_n v_{0n}^2 \omega_n z_n \cdot 10^{-3}}{2(\alpha_{nk} - \alpha_{nn})}, \quad (2.29)$$

Дія сил інерції впливає на витрати потужності в момент часу розгону барабанів до заданої частоти обертання і підтримки її в робочому процесі.

Потужність на подолання сил інерції при обертанні одного барабана визначали за формулою

$$N_{in} = \frac{M_{кр} \omega_n}{16}, \quad (2.30)$$

де $M_{кр}$ - крутний момент барабана, що обертається навколо нерухомої осі, кНм.

Відповідно до теореми про кінетичну енергію тіла, яке обертається навколо своєї осі, його крутний момент визначиться виразом

$$M_{кр} = \frac{J_n \omega_n^2}{2} \cdot 10^{-3}, \quad (2.31)$$

де J_n - момент інерції обертання n -го барабана відносно осі, кг-м.

При спільному рішенні рівнянь (2.30) і (2.31) вираз для визначення потужності на подолання сил інерції одного барабана

$$N_{iH} = \frac{J_n \omega_n^3}{32} \cdot 10^{-3}, \quad (2.32)$$

Загальне рівняння для визначення потужності по формулі (2.19), запишеться у вигляді

$$\begin{aligned} N = & \left(\sigma_{cm} S_z b_l \cdot \sin(\beta) + \tau_{cd} \cdot (l_1 \cdot b_l + S_1) \right) \cdot v_{e1} z_1 + m_m a_{cm} z_m v_{em} \cdot \cos(\alpha_m) \cdot 10^{-3} + \\ & + \frac{r_0 \omega_1 P_{t1} z_1 \cdot (\sin(\alpha_{1H}) + 1) \cdot 10^{-3}}{\alpha_{13}} + \sum_{m=2}^5 \frac{r_0 \omega_m P_{tm} z_m \cdot (\sin(\alpha_{mH}) + \cos(\alpha_0)) \cdot 10^{-3}}{\alpha_{m3}} + \\ & + \sum_{n=1}^5 \frac{m_n v_{0n}^2 \omega_n z_n \cdot 10^{-3}}{2 \cdot (\alpha_{nk} - \alpha_{nn})} + \sum_{n=1}^5 \frac{J_n \omega_n^3}{32} \cdot 10^{-3}. \end{aligned} \quad (2.33)$$

2.3 Теоретична продуктивність розпушувача буртів

Продуктивність розпушувача буртів визначали з урахуванням прийнятого допущення безперервного надходження маси на робочі органи в одиницю часу за формулою.

$$Q = \frac{m_1}{t_{13}} z_1, \quad (2.34)$$

де m_1 - маса матеріалу, який відокремлюється від бурту однієї лопатою першого барабана за час t_{13} ,

$$m_1 = \rho V = k_0 \rho S_1 b_l, \quad (2.35)$$

де ρ - щільність компостній суміші, кг/м³.

Відповідно до формули (2.35) та попередніх викладок вираз (2.34) запишеться у вигляді

$$Q = \frac{k_0 \rho_{cm} b_l \left(\frac{1}{2} (\omega_1 r_0^2 \cdot t_{13} - v_{arp} r_0 \cdot t_{13} \cdot \sin(\omega_1 t_{13})) + \frac{2 \cdot v_{arp} r_0 \cdot \sin(\omega_1 t_{13}/2)}{\omega_1} \right)}{t_{13}}. \quad (2.36)$$

Питому енергоємність робочого процесу розпушувача буртів визначали за формулою

$$E = \frac{N}{Q}, \quad (2.37)$$

де N - прийдна потужність робочих органів розпушувача, Вт;

Q - продуктивність розпушувача буртів, кг/с.

Спільне рішення отриманих співвідношень (дозволило здійснити моделювання зміни питомої енергоємності процесу обробки матеріалу в залежності від конструктивно-режимних параметрів розпушувача буртів і фізико-механічних властивостей компостних сумішей.

2.4 Висновки по розділу

На підставі проведених теоретичних досліджень процесу взаємодії робочих органів розпушувача буртів з компостною сумішшю можна зробити наступні висновки:

1. Запропонована конструктивно-технологічна схема розпушувача

буртів, проведені кінематичний і енергетичний аналіз взаємодії барабанів з компостній сумішшю. При цьому, форма траєкторій руху частинок визначаються початковими параметрами польоту.

2. Визначено основні параметри польоту, які в залежать від умов сходу частинок з лопатей барабанів, а саме кутів початку і закінчення сходу, швидкості сходу. Аналіз даних виразів виявив взаємний вплив конструктивно-режимних параметрів розпушувача буртів і фізико-механічних компостних сумішей на процес сходу.

3. Отримано залежності для визначення потужності на привід робочих органів і продуктивності розпушувача буртів, спільне рішення яких згідно з формулою дозволяє здійснити моделювання зміни питомої енергоємності процесу обробки матеріалу в залежності від конструктивно-режимних параметрів буртів і фізико-механічних властивостей компостних сумішей.

3 ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ РОЗПУШУВАЧА З КОМПОСТНОЮ МАСОЮ

3.1 Програма лабораторних досліджень

Теоретичні дослідження виявили необхідність уточнення і визначення впливу конструктивних параметрів і режимів роботи лопатевих барабанів на показники питомої енергоємності в процесі приготування компостів для визначення оптимальних конструктивно-режимних параметрів розпушувача буртів.

В якості основних методик використовувалися: теорія планування експерименту, методи фізичного моделювання. На цій основі були розроблені окремі методики лабораторних досліджень властивостей компонентів і сумішей. Для визначення кількості повторностей дослідів була обрана довірна ймовірність 0,95 і допустима помилка $\pm 3\sigma$, де σ - середнє квадратичне відхилення.

Відповідно до цього, кількість повторностей дослідів рівне трьом вважається достатнім при звичайних дослідженнях в техніці для знаходження залежностей впливу різних чинників.

3.2 Методика лабораторних досліджень

Лабораторні випробування проводили на розробленому стенді, який моделював роботу першого барабана. В якості досліджуваного матеріалу використовували тирсу деревини вологістю 60-65 %. Лабораторний стенд (рис. 3.1) має змогу змінювати частоту обертання барабана, швидкість руху та кут нахилу лопаток. За допомогою амперметра вимірювали силу струму

привідних двигунів, на основі чого встановлювали потужність приводу робочого органу. Встановлена за барабаном платформа давала змогу визначити кількість матеріалу, який потрапляє в потрібну для нормальної роботи машини зону.

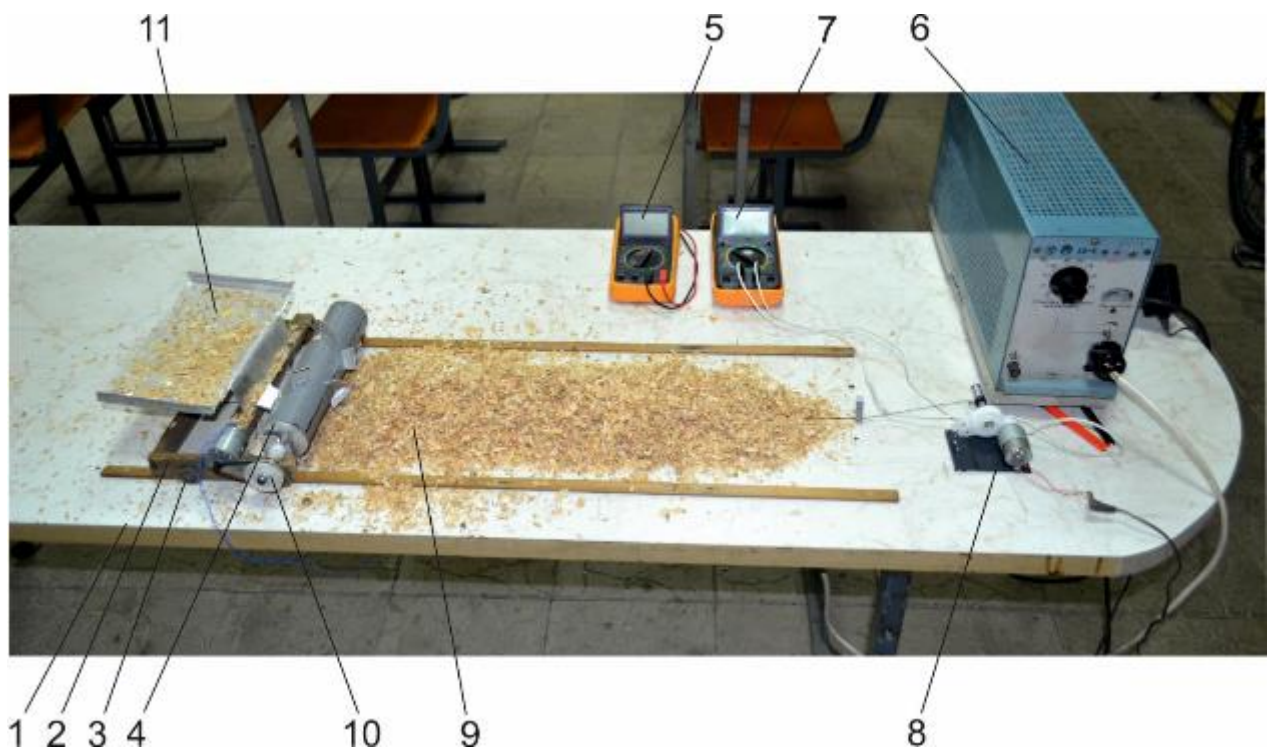
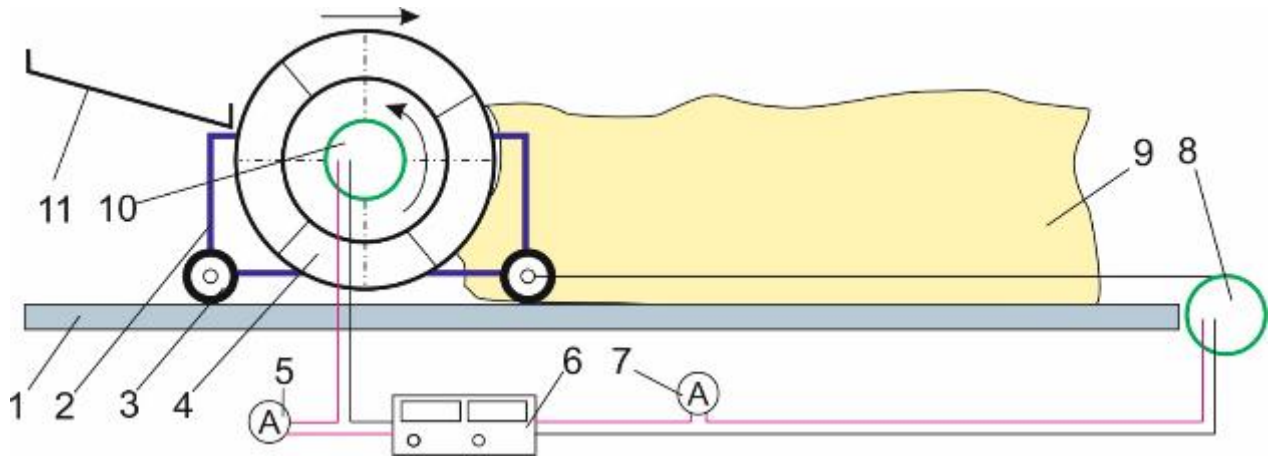


Рисунок 3.1 – Схема (а) та загальний вигляд (б) лабораторної установки:
 1 – стіл; 2 – рама; 3 – опорне колесо; 4 – барабан; 5, 7 – амперметр; 6 – регульований двоканальний блок живлення 12 В; 8 – привод руху барабана; 9 – розпушувана маса; 10 – привод барабана; 11 – платформа

3.3 Методика обробки експериментальних даних

Для забезпечення оптимальних конструктивно-режимних параметрів розпушувача буртів, поставлена задача визначення умов обробки суміші робочими органами розпушувача буртів, з максимальним потраплянням переміщуваного матеріалу в зону взаємодії барабанів при мінімальній енергоємності процесу.

Завдання вирішувалася знаходженням умовного мінімуму функції відгуку для енергоємності E при обмеженнях, що накладаються функцією відгуку ступеня попадання переміщуваного матеріалу в зону взаємодії барабанів.

Для отримання моделей процесу у вигляді поліномів другого ступеня реалізований некомпозіційний план другого порядку Бокса-Бенкіна, матриця якого представлена в таблиці 3.1.

Даний план дозволяє описати обраний критерій оптимізації рівнянням другого ступеня у вигляді:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k \sum_{l=1}^k b_{i,l} X_i X_l + \sum_{i=1}^k b_{i,i} X_i^2, \quad (3.1)$$

де $b_0, b_i, b_{i,l}, b_{i,i}$ - коефіцієнти регресії;

k - число факторів.

Досліди проводили з повторністю до, прийнятої триразовою, а значення експериментально визначених факторів усереднювалися за формулою

З метою перевірки стабільності умов випробувань і достовірності отриманих результатів перевірялася однорідність дисперсій за критерієм Кохрена для рівня значущості 0,9 4. Для цього розрахункове значення критерію визначали за формулою

$$G = \frac{\sigma_i^2 \max}{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2} \quad (3.3)$$

де $\sigma_i^2 \max$ - найбільша порядкова дисперсія;

$\sum_{i=1}^N \sigma_i^2$ - сума порядкової дисперсії.

Построкові дисперсії визначали за формулою

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^{k-1} (Y_{i,j} - \bar{Y}_i)^2 \quad (3.4)$$

Розрахункове значення критерію Кохрена G порівнювався з критичним (табличним) значенням $G_{кр}$, яке вибиралося відповідно до кількості ступенів свободи. За даними дослідів, проведених відповідно до матриці планування отримані моделі, що характеризують залежності δ і E від досліджуваних факторів процесу. Дані моделі представлені поліномами другого ступеня.

3.4 Результати лабораторних досліджень

У дослідженнях змінними були наступні фактори: ω_b - кутову швидкість обертання барабана, c^{-1} ; v_{aep} - швидкість переміщення барабана, м/с; β - кут установки лопатей на барабані, град. Як критерії оптимізації було обрано питому енергоємність робочого процесу барабану та ступінь попадання переміщуваного матеріалу. На основі теоретичних досліджень, обрані рівні та інтервали варіювання факторів, зазначені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Рівні та інтервали варіювання факторів

Фактори	Кодоване позначення	Інтервали варіювання	Рівні факторів		
			0	+1	-1
ω_b - кутова швидкість обертання барабана, c^{-1}	x_1	10	40	50	30
v_{aep} - швидкість переміщення барабана, м/с	x_2	0,1	0,20	0,30	0,10
β - кут установки лопатей на барабані, град	x_3	15	45	60	30

Для отримання моделі процесу роботи барабана у вигляді полінома другого ступеня, реалізований некомпозитний план другого порядку, матриця планування якого представлена в таблиці 3.1. Після реалізації всіх серій дослідів отримані значення функцій відгуку, зведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Матриця експериментальних значень функції відгуку,
отриманих в ході досліджень

Номер досл.	Інтервали варіювання факторів			Значення функцій відгуку	
	X ₁	X ₂	X ₃	Y _{ср} (δ), %	Y _{ср} (E), Дж/кг
1	+	+	0	44,2	505,5
2	+	-	0	38,0	438,9
3	-	+	0	27,8	492,3
4	-	-	0	33,4	407,5
5	0	0	0	52,2	396,2
6	+	0	-	51,6	468,5
7	-	0	+	48,0	460,5
8	-	0	-	36,3	426,7
9	-	0	-	30,5	448,2
10	0	0	0	51,7	397,2
11	0	+	+	42,0	487,4
12	0	+	-	32,3	495,4
13	0	-	+	37,3	414,3
14	0	-	-	37,8	416,2
15	0	0	0	53,0	397,0

Отримані рівняння регресії мають вигляд

- для ступеня попадання переміщуваного матеріалу δ:

$$Y_1 = 52,289 + 6,71X_1 + 2,33X_3 + 2,95X_1X_2 - 6,08X_1^2 - 10,35X_2^2 - 4,6X_3^2; \quad (3.5)$$

- для питомої енергоємності E:

$$Y_2 = 396,81 + 12,35X_1 + 37,95X_2 - 2,33X_3 + 4,55X_1X_2 - 7,37X_1X_3 - 1,52X_2X_3 + 30,95X_1^2 + 33,29X_2^2 - 23,22X_3^2; \quad (3.6)$$

У рівняннях регресії (3.5) і (3.6) фактори наведені в кодованому вигляді. Розкодовані регресивні моделі мають наступний вигляд:

- для ступеня попадання переміщуваного матеріалу δ :

$$\delta = -0,061 \cdot \omega_{\delta}^2 - 1035,3 \cdot v_{azp}^2 - 0,021 \cdot \beta^2 + 2,950 \cdot \omega_{\delta} \cdot v_{azp} + 1,714 \cdot v_{azp} \cdot \beta + 4,950 \cdot \omega_{\delta} + 219,380 \cdot v_{azp} + 1,667 \cdot \beta - 122,897, \quad (3.7)$$

- для питомої енергоємності E :

$$E = 0,310 \cdot \omega_{\delta}^2 + 3329,9 \cdot v_{azp}^2 + 0,104 \cdot \beta^2 - 4,550 \cdot \omega_{\delta} \cdot v_{azp} + 0,049 \cdot \omega_{\delta} \cdot \beta - 1,016 \cdot v_{azp} \cdot \beta - 24,834 \cdot \omega_{\delta} - 724,87 \cdot v_{azp} - 11,306 \cdot \beta + 1159,985. \quad (3.8)$$

За дослідними даними, згідно з графіками представленими на рис. 3.2 3.3, при здійсненні робочого процесу найбільша ступінь попадання частинок в зону взаємодії дорівнює $\delta=53\%$ при $\omega_{\delta}=46 \text{ с}^{-1}$ і $v_{azp} = 0,2 \text{ м/с}$, а енергоємність, розташована в зоні мінімуму - $E=378 \text{ Дж/кг}$ при $\omega_{\delta} = 37 \text{ с}^{-1}$ і $v_{azp} = 0,1 \text{ м/с}$. Дані екстремуми чітко видно на тривимірних графіках, побудованих за допомогою математичного пакета «MathCad» по регресійним моделям.

При поступальній швидкості руху лопатевого барабана $v_{azp} = 0,1 \text{ м/с}$, збільшення кутової швидкості обертання барабана ω_{δ} з 30 до 37 с^{-1} призводить до зниження питомої енергоємності E з 406 Дж/кг до 378 Дж/кг , що пов'язано зі зменшенням, при постійній поступальній, швидкості подачі на лопаті барабана і, відповідно до зниження опору відділення матеріалу від бурту і опору його переміщенню.

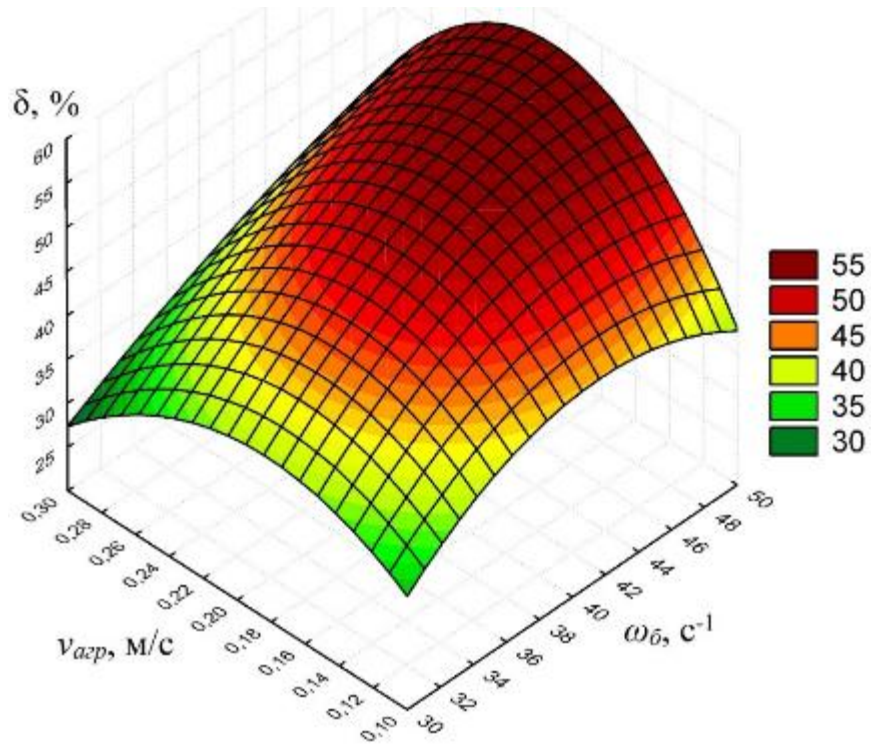


Рисунок 3.2 - Поверхня відгуку ступеня попадання частинок в зону взаємодії при куті установки лопаті $\beta = 45$ град

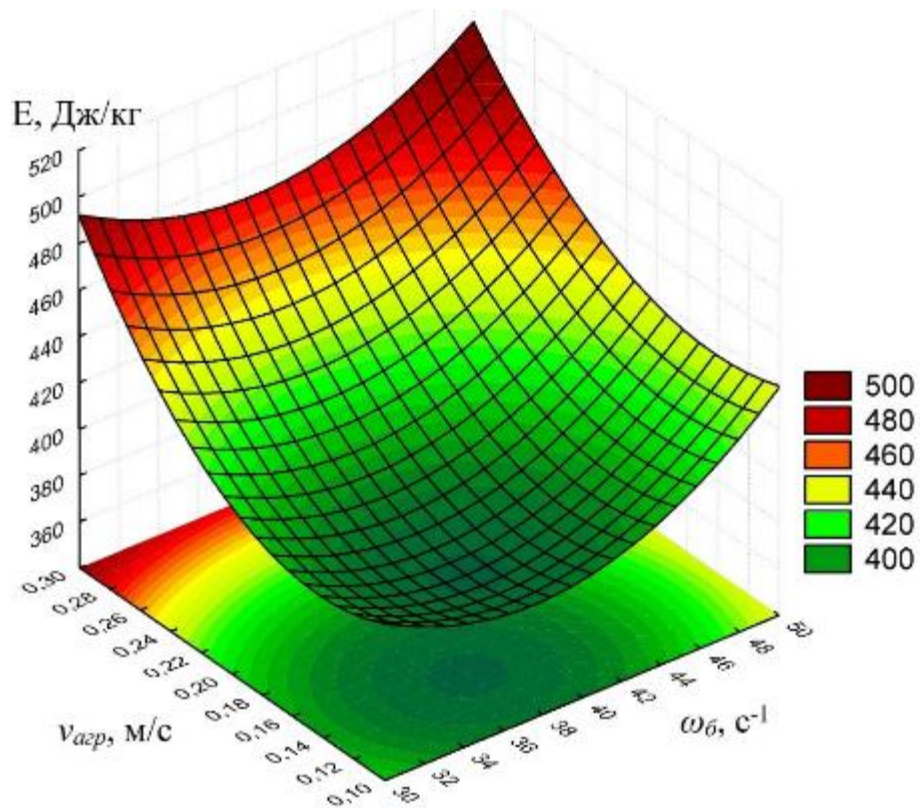


Рисунок 3.3 - Поверхня відгуку питомої енергоємності при куті установки лопаті $\beta = 45$ град

При подальшому збільшенні кутової швидкості обертання з 37 до 50 с^{-1} спостерігається збільшення питомої енергоємності E з 378 Дж/кг до 445 Дж/кг , що обумовлено зростанням кінетичної енергії на виліт частинок і опору сил інерції при обертанні барабанів.

Однак, нами поставлена задача визначення мінімальної питомої енергоємності при обмеженнях, що накладаються функцією відгуку ступеня попадання переміщуваного матеріалу в зону взаємодії барабанів. Так як отримані значення факторів при рівних значеннях не забезпечують спільних оптимальних параметрів розглянутих регресійних моделей, необхідно провести додаткове дослідження області оптимуму функцій з метою отримання значень змінних факторів, які відповідають заданим параметрам.

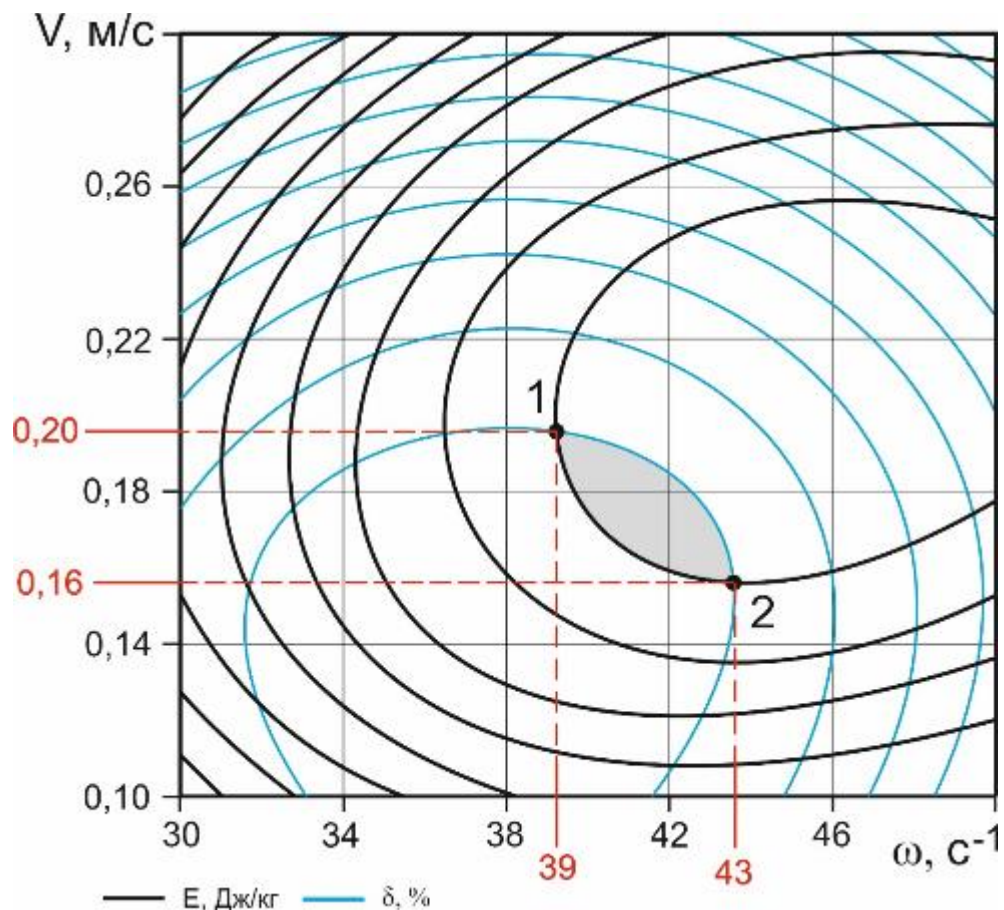


Рисунок 3.4 - Поєднані двомірні перетини поверхонь відгуку моделей ступеня попадання частинок і питомої енергоємності

Відповідно до даного контурного графіку (рис. 3.4) є дві точки перетину контурів, що обмежують область максимальних значень ступеня попадання частинок в зону взаємодії $\delta = 50,7\%$ і одночасно мінімальних значень енергоємності $E = 393,8$ Дж/кг.

Для вибору оптимальної точки додатково порівнюємо умови процесу за продуктивністю. У точці 1, що має значення факторів $\omega_{\delta} = 39 \text{ с}^{-1}$ і $v_{азр} = 0,2 \text{ м/с}$, продуктивність дорівнює $Q_1 = 20,4 \text{ кг/с}$, а в точці 2 зі значеннями факторів $\omega_{\delta} = 43 \text{ с}^{-1}$ і $v_{азр} = 0,16 \text{ м/с}$ - $Q_2 = 22,8 \text{ кг/с}$. Так як в точці 2 продуктивність вище, ніж в точці 1, слід вважати значення кутової швидкості обертання лопатевого барабана $\omega_{\delta} = 43 \text{ с}^{-1}$ і поступальної швидкості $v_{азр} = 0,16 \text{ м/с}$ оптимальними.

Таким чином, мінімальне значення питомої енергоємності роботи першого лопатевого барабана розпушувача $E = 393,8$ Дж/кг досягається при кутовій швидкості обертання $\omega_{\delta} = 43 \text{ с}^{-1}$, поступальній швидкості $v_{азр} = 0,16 \text{ м/с}$ і куті розташування лопатей на барабані $\beta = 45$ град, з попаданням в зону взаємодії барабанів до $\delta = 50,7\%$ переміщеної маси.

Відповідно, щоб забезпечити задану продуктивність розпушувача буртів $Q = 22,8 \text{ кг/с}$, кутові швидкості барабанів 2-4 повинні бути не нижче кутової швидкості першого барабана.

Питома енергоємність розпушувача буртів складається з енергоємності всіх п'яти барабанів і становить $E = 1,9$ кДж/кг. Продуктивність розпушувача буртів, що визначається питомою продуктивністю першого барабана становить $Q = 20$ т/год.

3.5 Висновки по розділу

Досліджено технологічний процес приготування компосту, який чинять робочими органами розпушувача буртів. Визначено оптимальні конструктивно-режимні параметри розпушувача буртів, які дозволяють якісно

і з мінімальними витратами здійснювати процес підготовки компостів: кутова швидкість обертання 43с^{-1} , поступальна швидкість руху $0,16\text{ м/с}$; кут нахилу лопаті до осі барабана 45° ; радіус барабанів $0,175\text{ м}$, висота лопатей $0,095\text{ м}$, ширина захвату лопаті $0,100\text{ м}$. Мінімальне значення питомої енергоємності роботи першого лопатевого барабана розпушувача буртів склало $398,8\text{ Дж/кг}$ при попаданні в зону взаємодії до 51% переміщеної маси. Дані значення параметрів забезпечують питому енергоємність роботи розпушувача буртів $E=1,9\text{ кДж/кг}$, з продуктивністю 20 т/год .

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги охорони праці при обробці та переробці гною

Охорона праці при обробці та переробці гною регулюється українськими та європейськими нормативно-правовими актами, які спрямовані на забезпечення безпечних умов праці, мінімізацію ризиків для здоров'я працівників та захист навколишнього середовища. В Україні основним документом є Закон України «Про охорону праці», який визначає обов'язки роботодавців забезпечувати безпечні умови на робочих місцях, зокрема при обробці гною. Роботодавці зобов'язані забезпечувати працівників засобами індивідуального захисту, проводити навчання з охорони праці та організовувати безпечний технологічний процес.

Державні стандарти України (ДСТУ) встановлюють вимоги до безпеки при роботі з органічними відходами, включно з гноєм. Наприклад, ДСТУ 7234:2011 визначає вимоги до техніки і обладнання для обробки органічних відходів, а ДСТУ ISO 12100-2014 стосується безпеки машин і зменшення ризиків для працівників. Правила охорони праці у сільському господарстві також містять вимоги до технічної експлуатації обладнання, умов праці, використання засобів захисту та забезпечення вентиляції для уникнення накопичення шкідливих газів, таких як аміак і сірководень.

В європейському законодавстві охорона праці при обробці гною регулюється низкою директив. Директива Ради 89/391/ЄЕС зобов'язує роботодавців оцінювати ризики на робочих місцях і забезпечувати працівників засобами індивідуального захисту. Директива 2006/42/ЄС про машини регулює безпеку обладнання, що використовується у сільському господарстві, включаючи техніку для обробки гною. Важливе значення має і Директива 98/24/ЄС, яка стосується захисту працівників від хімічних агентів, зокрема від шкідливих речовин, які можуть виділятися під час обробки гною.

Регламент (ЄС) 2016/679 (GMP) визначає стандарти безпеки у виробництві та обробці органічних матеріалів, серед яких і гній, вимагаючи створення безпечних умов праці для тих, хто працює з органічними відходами. Серед загальних вимог охорони праці можна виділити регулярне навчання та інструктаж для працівників з безпечного використання обладнання, обов'язкове використання засобів індивідуального захисту, таких як респіратори, захисні окуляри, рукавиці та спецодяг. Приміщення, де здійснюється обробка гною, повинні бути обладнані системами вентиляції для зменшення концентрації шкідливих газів.

Регулярний технічний нагляд за обладнанням та його своєчасна перевірка є важливою умовою для запобігання аварійним ситуаціям. Роботодавці також повинні забезпечити медичний нагляд за працівниками, які працюють з гноєм, щоб вчасно виявляти можливі професійні захворювання. Таким чином, дотримання вимог як українського, так і європейського законодавства щодо охорони праці при обробці та переробці гною є важливою умовою для безпеки працівників і збереження їхнього здоров'я.

4.2 Розробка проекту інструкції з охорони праці при роботі з аератором компостних буртів

1. Загальні положення

1.1. Ця інструкція з охорони праці визначає правила безпеки під час експлуатації аератора компостних буртів і обов'язкова для всіх працівників, що виконують роботи з даним обладнанням.

1.2. Інструкція розроблена відповідно до Закону України "Про охорону праці", Державних стандартів безпеки праці та чинних нормативно-правових актів.

1.3. До роботи з аератором компостних буртів допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, інструктаж з охорони праці,

навчання безпечним методам роботи, мають відповідні навички і знання з технічної експлуатації обладнання.

1.4. Працівники зобов'язані проходити регулярні інструктажі (вступний, первинний, повторний, позаплановий і цільовий), медичний огляд та дотримуватись правил техніки безпеки.

1.5. Забороняється експлуатація аератора в разі виявлення несправностей, що можуть призвести до травмування або аварії.

2. Вимоги до засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

2.1. Під час роботи з аератором компостних буртів працівники повинні використовувати наступні засоби індивідуального захисту:

спецодяг (комбінезон або робочий одяг);

захисне взуття з антиковзким покриттям;

рукавиці або захисні рукавички для захисту рук;

захисні окуляри для захисту очей від пилу і дрібних часток;

респіратор або маску для захисту органів дихання під час роботи з компостом;

захисні навушники або беруші для захисту слуху від шуму.

3. Вимоги до безпечної експлуатації аератора

3.1. Перед початком роботи працівник зобов'язаний перевірити технічний стан аератора компостних буртів, переконатися в наявності та справності захисних елементів, заземлення, справності електричних дротів і кабелів.

3.2. Перед включенням аератора необхідно переконатися у відсутності сторонніх предметів у зоні його дії та на поверхні компостних буртів.

3.3. Забороняється запускати аератор на нерівній або слизькій поверхні.

3.4. Під час роботи працівник повинен тримати безпечну відстань від аератора, не допускати доторкання до рухомих частин обладнання.

3.5. При виявленні несправностей у роботі аератора, його необхідно негайно зупинити, відключити від джерела живлення та повідомити відповідальну особу.

3.6. Під час аерації компостних бургтів слід бути обережним і контролювати рівень пилу та газів, що можуть виділятися. В разі перевищення допустимих норм забруднюючих речовин необхідно використовувати респіратори та забезпечити вентиляцію робочого місця.

3.7. У зоні проведення робіт не повинно бути сторонніх осіб. Всі працівники повинні бути проінформовані про межі небезпечної зони.

4. Вимоги до безпеки під час роботи

4.1. Під час роботи з аератором забороняється:

працювати без засобів індивідуального захисту;

залишати працюючий аератор без нагляду;

очищувати, ремонтувати або проводити технічне обслуговування під час роботи обладнання.

4.2. У разі виникнення аварійної ситуації (пожежа, обрив електрокабелів, виявлення витоку рідин) необхідно негайно зупинити роботу аератора, відключити його від електромережі та діяти відповідно до плану ліквідації аварій.

5. Пожежна безпека

5.1. У зоні роботи з аератором повинні бути наявні первинні засоби пожежогасіння (вогнегасник, пісок, лопата).

5.2. Паливно-мастильні матеріали повинні зберігатися в спеціально відведених місцях, які відповідають вимогам пожежної безпеки.

5.3. При виникненні пожежі негайно повідомити відповідну службу, зупинити обладнання та використовувати наявні засоби пожежогасіння.

6. Заключні положення

6.1. Після завершення робіт необхідно зупинити аератор, вимкнути його від джерела живлення, очистити від залишків компосту та перевірити технічний стан.

6.2. Робоча зона повинна бути очищена від сміття, компосту та інших забруднень.

6.3. У разі травмування або інших надзвичайних ситуацій, працівник повинен негайно повідомити керівника робіт та звернутися за медичною допомогою.

4.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Порядок дій під час ракетного обстрілу

1. Початок повітряної тривоги: При сигналі тривоги негайно припиніть роботу, навчання чи будь-які інші дії. Увімкніть радіо або інші засоби зв'язку для отримання інформації про загрозу. Якщо ви вдома, перейдіть у безпечне місце (укриття, підвал або ванну кімнату без вікон).

2. Пошук найближчого укриття: Якщо ви перебуваєте на вулиці, негайно перейдіть до найближчого бомбосховища або укриття. Якщо укриття неподалік немає, сховайтеся в найближчій будівлі. Важливо уникати великих скляних вікон та фасадів. У випадку відсутності доступу до будівлі, знайдіть природні укриття: ями, траншеї або заглиблення в землі. Лягайте на землю, захистіть голову руками.

3. Дії в громадському транспорті: Вийдіть із транспорту на найближчій зупинці та прямуйте до укриття. У метро залишайтеся на станції, але спустіться якомога глибше, до перонів або тунелів.

4. Перебування в укритті: Закрийте двері та вікна, щоб зменшити ризик травмування від уламків або вибухової хвилі. Займіть безпечне місце біля внутрішніх стін або в найбільш захищених частинах будівлі (наприклад, коридор або ванна кімната). Пам'ятайте, що найбільш небезпечні зони – це вікна та зовнішні стіни. Укриття повинно бути оснащено водою, їжею та аптечкою.

5. Поведінка під час обстрілу: Зберігайте спокій, не панікуйте. Намагайтеся уникати шуму, щоб почути можливі інструкції або повідомлення. Слухайте офіційні повідомлення про закінчення обстрілу або подальші

інструкції. Під час обстрілу забороняється виходити на вулицю або переміщуватися без крайньої необхідності.

6. Після закінчення тривоги: Чекайте офіційного повідомлення про закінчення повітряної загрози. Обережно покидайте укриття, звертаючи увагу на можливі уламки, обірвані дроти та інші небезпеки. Повідомте відповідні служби, якщо виявили поранених або пошкодження інфраструктури.

7. Оповіщення та допомога: Якщо ви стали свідком обстрілу або побачили пошкодження, негайно повідомте про це відповідні служби або місцеві органи влади. За можливості, надайте першу допомогу постраждалим до приїзду рятувальних служб.

4.4 Висновки по розділу

У даному розділі були розглянуті основні вимоги до забезпечення безпеки праці при роботі з гноєм, аераторами компостних буртів, а також дії під час надзвичайних ситуацій. Проаналізовано законодавчі вимоги України та ЄС, які регулюють охорону праці в галузі сільського господарства, зокрема під час роботи з органічними відходами.

Зроблено акцент на важливості дотримання правил техніки безпеки, використанні засобів індивідуального захисту, регулярному технічному нагляді за обладнанням та навчанні працівників. Це дозволяє знизити ризики травматизму, захистити працівників від шкідливих факторів і забезпечити безпечні умови праці на підприємствах.

Також були надані рекомендації щодо організації дій у разі ракетного обстрілу, що є важливим аспектом охорони праці в умовах воєнного стану.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ПРИСКОРЕНОГО КОМПОСТУВАННЯ ГНОЮ

5.1 Вихідні дані

У даному розділі визначається передбачувана економічна ефективність застосування розробленого гноєрозкидача для прискореного компостування гною. Розрахунки будемо проводити для однозмінної роботи, але кількість обробок буде рівна шести. Так як при використанні традиційної технології обробки гною не проводять, техніко-економічні показники будуть розраховані лише для операцій, які пов'язані з розробленою машиною. Крім експлуатаційних витрат, треба також враховувати очікуваний економічний ефект від підвищення якості добрив, а саме збільшення вмісту активних поживних речовин, який досягається при застосуванні розробленої машини.

Вихідні дані для розрахунку зводимо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до розрахунку
техніко економічних показників

Показник	Варіанти	
	Традиційна технологія	Проектована
1. Вміст поживних речовин в кінцевому продукті, %:		
азот	1,8	2,5
фосфор	2,3	3,6
калій	2,1	2,6
2. Вартість обладнання для обробки, грн		483200
3. Сумарна потужність комплексу, кВт		125,0
4. Продуктивність, т/год.		20,0
5. Обслуговуючий персонал, люд.		3
6. Кількість обробок на рік		6

7. Тривалість робіт на рік, днів		30
8. Витрати води, м ³ /т		0,08
9. Вартість води, грн./м ³		5,0
10. Коефіцієнт амортизаційних відрахувань		0,18
11. Коефіцієнт відрахувань на ТО і ремонт		0,15

Таак, як ринок органічних добрив в Україні фактично відсутній, а, отже і відсутня обґрунтована вартість (в залежності від хімічного складу), ми пропонуємо провести розрахунок вартості отриманого продукту виходячи зі вмісту основних поживних речовин та ринкової вартості аналогічних мінеральних добрив.

Визначення вартості продукту:

$$ВД = \frac{P_{a.o.} \cdot C_a}{P_{a.m.}} + \frac{P_{\phi.o.} \cdot C_{\phi}}{P_{\phi.m.}} + \frac{P_{k.o.} \cdot C_k}{P_{k.m.}} \quad (5.1)$$

де C_a , C_{ϕ} , C_k – вартість добрив, відповідно аміачних, фосфорних та калійних, грн/кг; згідно даних ТОВ «АгроХімДніпро»: $C_a=7700$ грн/т., $C_{\phi}=13860$ грн/т., $C_k = 4200$ грн/т.

$P_{a.o.}$, $P_{\phi.o.}$, $P_{k.o.}$ та $P_{a.m.}$, $P_{\phi.m.}$, $P_{k.m.}$ – вміст азоту, фосфору та калію відповідно в органічних (табл. 5.1) та мінеральних добривах, %.

Традиційна технологія:

$$ВД_m = \frac{1,8 \cdot 7700}{34,4} + \frac{2,3 \cdot 13860}{60} + \frac{2,1 \cdot 4200}{23} = 1317,69 \text{ грн./т.}$$

Проектна технологія:

$$ВД_n = \frac{2,5 \cdot 7700}{34,4} + \frac{3,6 \cdot 13860}{60} + \frac{2,6 \cdot 4200}{23} = 1865,98 \text{ грн./т.}$$

Таким чином, приріст вартості добрив для проектного варіанту складає:

$$\Delta BД = B_n - B_m = 1865,98 - 1317,69 = 926,65 \text{ грн./т}$$

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Порівняння технологій прискореного компостування, зокрема базової та удосконаленої, буде проведено за питомими експлуатаційними витратами. До складу цих витрат входять різноманітні компоненти, такі як витрати на заробітну плату працівників, витрати на енергоресурси, амортизаційні відрахування, а також витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання. Для виконання розрахунків цих показників будемо використовувати методики та рекомендації, зазначені в джерелах [36].

Таблиця 5.2 - Показники економічної ефективності
машини для компостування

Показник	Значення
Продуктивність, т/год.	20,0
Сумарна потужність, кВт	125,0
Обслуговуючий персонал, люд.	3
Балансова вартість, грн.	483200
Вартість отриманих добрив, грн./т.	1865,98
Питомі експлуатаційні витрати, грн./т	450,38
в т.ч.: заробітна платня	4,09
витрати на енергоресурси	34,06
амортизаційні відрахування	20,13
витрати на ТО та ремонт	16,78

Питомі витрати на зволоження, грн./т	2,40
Загальні питомі витрати, грн./т	452,78
Приріст вартості отриманих добрив, грн./т	548,29
Економічний ефект від приросту вартості, грн./т	95,51
Максимальне річне навантаження, т.	4320,0
Економія витрат при максимальному річному виробітку, грн.	412603,20
Строк окупності капітальних вкладень, років	1,17

5.3 Висновки по розділу

Таким чином, незважаючи на витрати, пов'язані з обробкою компосту розробленою машиною, що призводить до появи додаткових експлуатаційних витрат у розмірі 452,78 грн./т, маємо економічний ефект від приросту вартості отриманих добрив за рахунок збільшення вмісту поживних речовин. При річному навантаженні 4320 т, термін окупності складе 1,17 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Для виконання процесів підготовки сумішей і їх обробки на відкритих майданчиках найбільш перспективними є самохідні та причіпні розпушувачі буртів, як найбільш високопродуктивні і технологічні, що дозволяють реалізувати поточно-безперервний спосіб виробництва органічних добрив, але в даний час відсутнє вітчизняне промислове виробництво подібних технічних засобів.

2. Теоретично визначено основні параметри польоту, які в залежать від умов сходу частинок з лопатей барабанів, а саме кутів початку і закінчення сходу, швидкості сходу. Отримано залежності для визначення потужності на привід робочих органів і продуктивності розпушувача буртів, спільне рішення яких згідно з формулою дозволяє здійснити моделювання зміни питомої енергоємності процесу обробки матеріалу в залежності від конструктивно-режимних параметрів буртів і фізико-механічних властивостей компостних сумішей.

3. Визначено оптимальні конструктивно-режимні параметри розпушувача буртів, які дозволяють якісно і з мінімальними витратами здійснювати процес підготовки компостів: кутова швидкість обертання 43с^{-1} , поступальна швидкість руху $0,16\text{ м/с}$; кут нахилу лопаті до осі барабана 45° ; радіус барабанів $0,175\text{ м}$, висота лопатей $0,095\text{ м}$, ширина захвату лопаті $0,100\text{ м}$. Мінімальне значення питомої енергоємності роботи першого лопатевого барабана розпушувача буртів склало $398,8\text{ Дж/кг}$ при попаданні в зону взаємодії до 51% переміщеної маси. Дані значення параметрів забезпечують питому енергоємність роботи розпушувача буртів $E=1,9\text{ кДж/кг}$, з продуктивністю 20 т/год .

4. У розділі з охорони праці були розглянуті основні вимоги до забезпечення безпеки праці при роботі з гноєм, аераторами компостних буртів, а також дії під час надзвичайних ситуацій. Проаналізовано законодавчі вимоги України та ЄС, які регулюють охорону праці в галузі сільського господарства,

зокрема під час роботи з органічними відходами. Також були надані рекомендації щодо організації дій у разі ракетного обстрілу, що є важливим аспектом охорони праці в умовах воєнного стану.

5. Таким чином, незважаючи на витрати, пов'язані з обробкою компосту розробленою машиною, що призводить до появи додаткових експлуатаційних витрат у розмірі 452,78 грн./т, маємо економічний ефект від приросту вартості отриманих добрив за рахунок збільшення вмісту поживних речовин. При річному навантаженні 4320 т, термін окупності складе 1,17 року.

Бібліографія

1. Погорілий Л.В., Єрмоленко В.О. Загальні концепції створення біоконверсного комплексу // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції „Випробування, прогнозування і адаптація до виробничих умов вітчизняної та зарубіжної техніки і технології для рослинництва та тваринництва». – Дослідницьке: УкрНДПВТ. – 1995 – С. 171
2. Дудін В.Ю. Технологія виробництва і переробки продукції свинарства: навчальний посібник / М. Повод, О. Бондарська, В. Лихач, С. Жижка, В. Нечмілов та ін. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. – 360 с.
3. Повод М.Г, Дудін, В.Ю., Шпетний М.Б. Розробка основних засад щодо обґрунтованого визначення розмірів санітарно-захисних зон свиноферм: монографія, Суми, «Сумський національний аграрний університет» 2019. – 96 с., ISBN 978-617-593-059-5
4. Гранично допустимі концентрації \ГДК\ та орієнтовні безпечні рівні діяння \ОБРД\ забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць/Міністерство екології та природних ресурсів України.
5. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами / ТОМ 3, Донецьк, 2004.
6. Enteric Methane Emission from Pigs/ Henry Jørgensen, Peter K. Theil and Knud Erik Bach Knudsen //Aarhus University, Faculty of Science and Technology, Denmark.
7. Відомчі норми технологічного проектування. ВНТП – АПК 02.02. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми), Мінагрополітики України, К.: – 2002. – 97 с.
8. Odour from Pig Production Facilities: Its Relation to Diet / P. D. Le, P. M. Becker, A. J.A. Aarnink, A. W. Jongbloed & C.M.C. Van der Peet-Schwering, March 2004.
9. Emissions from Animal Production Systems/ John W. Worley

10. Hazardous Pollution From Factory Farms: An Analysis Of Epa's National Air Emissions Monitoring Study Data//Environmental Integrity /March 2011.

11. Сайт фірми «SCHAUER Agrotronic GmbH» [Електронний ресурс]/ Каталог продукції Режим доступу: <http://www.schauer.co.at>

12. Сайт фірми «Неофорс» [Електронний ресурс]/ Каталог продукції Режим доступу: [www.neoforce](http://www.neoforce.com)

13. Інформаційний сайт з питань свиноводства [Електронний ресурс]/ Режим доступу: www.svinovodstvo.com.ua

14. Сайт фірми «Big Dutchman» [Електронний ресурс]/Каталог продукції Режим доступу: <http://www.bigdutchman.de>

15. Сайт ООО НПК «ЭКО-СЕРВИС» [Електронний ресурс]/ Каталог продукції Режим доступу: <http://www.ekoservis.com.ua>

16. Сайт фірми BAUER Group [Електронний ресурс]/ Каталог продукції, Режим доступу: <http://www.bauer-at.com>

17. Сайт фірми FAN-SEPARATOR [Електронний ресурс]/ Каталог продукції, Режим доступу: <http://www.fanseparator.com>

18. Напрямки раціонального використання органічних відходів тваринництва / І.А. Шевченко, В.М. Павліченко, О.О. Ляшенко // Техніка і технології АПК. – 2011. – 1(16). – С. 8-11.

19. Павленко С.І. Аналіз і обґрунтування технологічних процесів компостування сільськогосподарських органічних відходів тваринного походження / С. І. Павленко, О.О. Ляшенко, Д.М. Лисенко, В.І. Харитонов // Збірник наукових праць ВНАУ– 2012 – № 2.

20. Сайт фірми ABONO Group, LLC [Електронний ресурс]/ Каталог продукції, Режим доступу: [http://www.abono](http://www.abono.com)

21. Сайт фірми LANDCO SA [Електронний ресурс]/ Каталог продукції, Режим доступу: <http://www.landco.lu> **БІОГАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В УКРАЇНІ.** [Електронний ресурс]/Режим доступу: <http://biogascenter.googlepages.com>

22. Сайт фірми «Астрон» [Електронний ресурс]/ Каталог продукції, Режим доступу: <http://astron.far.ru/catalog/uap.html>

23. Караєв О. Г., Бондаренко Л. Ю., Стручаєв М. І. Використання відновлюваних ресурсів садівництва за вимогами стандарту GLOBALG.A.P. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. 2019. Вип. 7. С. 92–99.

24. Караєв О. Г., Бондаренко Л. Ю., Стручаєв М. І. Термодинамічна модель отримання добрив з тріски зрізаних гілок плодкових дерев. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 105–114.

25. Quazi H. Bari, Albert Koenig Application of a simplified mathematical model to estimate the effect of forced aeration on composting in a closed system. Waste Managemen. 2012. Vol. 31(11). P. 2037–2045.

26. Karaiev A., Tolstolik L., Chyzykov I., Karaieva T. Defining Stability of Technological Process of Growing Fruit Crop Seedlings. Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations. 2019. Pt. 1. P. 53–62.

27. Гелету́ха Г. Г., Желе́зна Т. А., Драгне́в С. В., Баштовий А. І. Перспективи використання біомаси від обрізки та видалення багаторічних сільськогосподарських насаджень для виробництва енергії в Україні. Промислова теплотехніка. 2018. Т.40, № 6. С. 68–74.

28. Struchaiev N., Bondarenko L., Vershkov O., Chaplinskiy A. Improving the efficiency of fruit tree sprayers. Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations. 2019. Pt 1. P. 3–10.

29. Lezhenkin A., Halko S., Miroshnyk A., Kovalyshyn, S., Vershkov A., Hryhorenko O. Mathematical simulation of separating work tool technological process. International Scientific Conference on Progress of Mechanical Engineering Supported by Information Technology, POLSITA, 22 November 2019. Czajowice, Poland, 2019. Vol. 132. no 155 125.

30. Lattimore, B., Smith, C. T., Titus, B. D., Stupak, I. and Egnell, G. Environmental factors in woodfuel production: Opportunities, risks, and criteria and indicators for sustainable practices. Biomass and Bioenergy. 2009. Vol. 33(10). P. 1321–1342.

31. Lezhenkin O., Lezhenkin I., Vershkov O., Kolomiets S. Agrobiological as Well as Mechanical and Technological Framework of Науковий вісник ТДАТУ 10 з 11 Вип. 12, том 3 SBTSATU. 12. 3. 10 Development of the Harvesting Technology with the Method of Grain Crops Combing in Standing Position. Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations. 2019. Pt. 1. P. 85–90.

32. Ефективність дії біоагентів для компостування опалого листя. URL:<https://jrn1.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/13838/1934> 7 (дата звернення 31.10.2022).

33. Guardia A.de, Petiot Ch. Elie, Didier Rogeau, C Druilhe. Influence of aeration rate on nitrogen dynamics during composting. Waste Managemen. 2008. Vol. 28(3). P. 575–587.

34. Sundberg C., Jönsson H. Higher pH and faster decomposition in biowaste composting by increased aeration. Waste Managemen. 2008. Vol. 28(3). P. 518–526.

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

36. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

Удосконалення технологічного процесу обробки підстилкового гною

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-1-23
Баглай Артем Анатолійович

Керівник: к.т.н., доцент
Дудін Володимир Юрійович

Дніпро 2024

Мета і задачі досліджень

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ. Підвищення ефективності процесу приготування компостів шляхом обґрунтування конструкції і режимів роботи розпушувача буртів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести огляд технологій та засобів для переробки гною сільськогосподарських тварин;
- встановити теоретичні закономірності взаємодії робочих органів розпушувача буртів з компостній сумішшю і енергоємності процесу приготування компостів;
- провести експериментальні дослідження процесів взаємодії робочих органів розпушувача буртів з і обґрунтувати його оптимальні конструктивно-режимні параметри;
- провести аналіз розпушувача з точки зору охорони праці;
- виконати техніко-економічну оцінку технології отримання компосту за допомогою розробленої конструкції розпушувача в порівнянні з традиційною.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ. Технологічний процес приготування компостів та технічний засіб для його забезпечення.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ. Закономірності взаємодії робочих органів розпушувача буртів з компостній сумішшю.

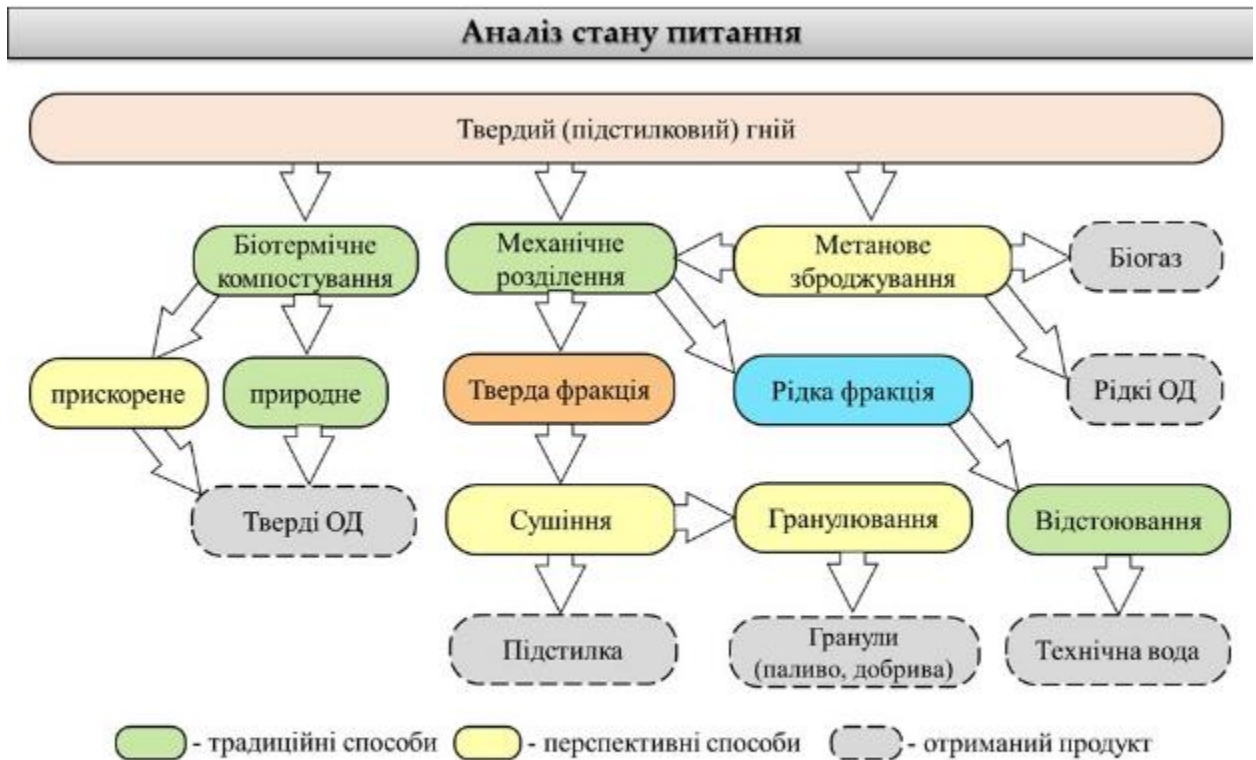


Рисунок 1 – Технології переробки твердого гною



Теоретичні дослідження

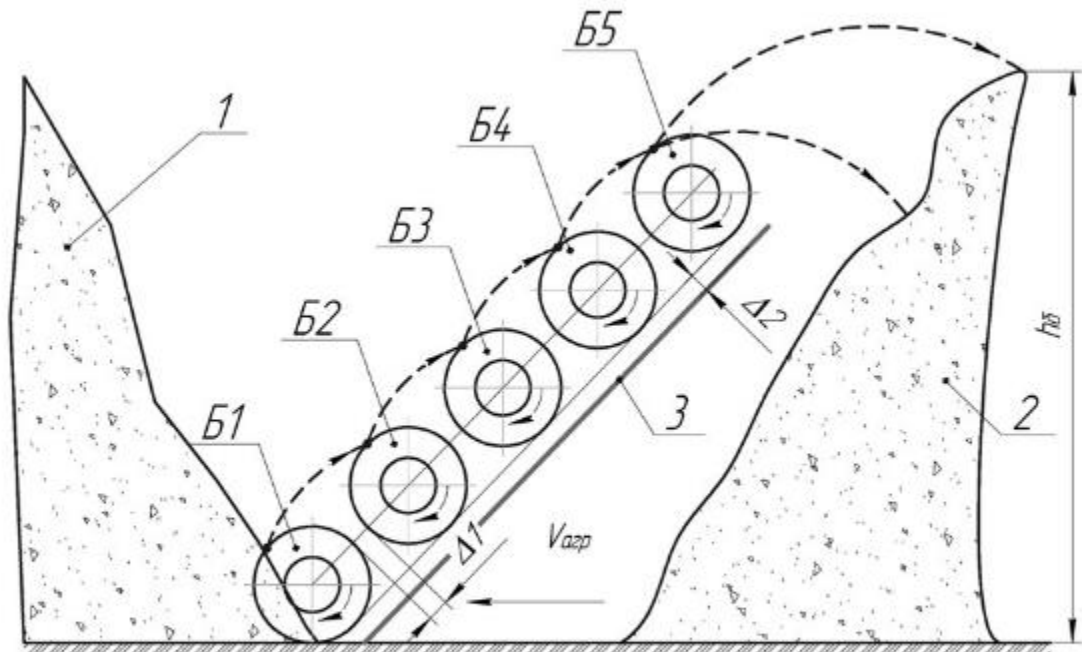


Рисунок 2 - Конструктивно-технологічна схема розпушувача буртів: 1 - компостований матеріал до обробки розпушувачем буртів; 2 - компостований матеріал після обробки розпушувачем буртів; 3 - піддон; Б1, Б2, Б3, Б4 і Б5 - барабани розпушувача буртів; h_b - висота бурта

5

Теоретичні дослідження

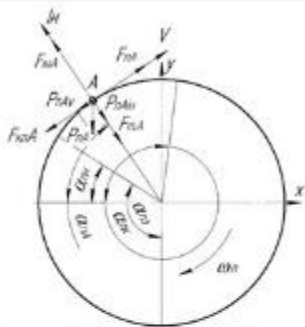
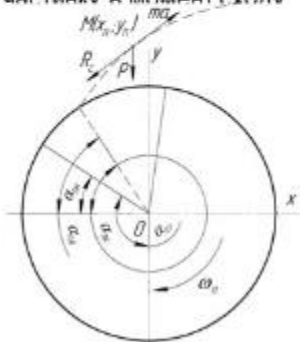


Рисунок 3 - Схема сил, діючих на частинку в момент сходлу



Малюнок 4 - Схема сил, діючих на частинку під час польоту

$$F_{in,d} \geq F_{m,n,d} + P_{n,d} \sin \alpha_{n,d}$$

Вирази для визначення складових формули:

- сила інерції $F_{in,d} \geq m_n r_n \omega_n^2$;

- сила тертя $F_{m,n,d} \geq \mu N_{n,d}$,

де μ - коефіцієнт тертя матеріалу по лопаті;

$N_{n,d}$ - сила нормальної реакції, $N_{n,d} = F_{rad} + P_{n,d}$;

F_{rad} - сила Коріоліса, $F_{rad} \geq 2m_n r_n \omega_n v_{r,dn}$;

$v_{r,dn}$ - радіальна швидкість у момент сходлу матеріалу, визначається точкою А на кола обертання на n -му барабані, м/с;

$P_{n,d}$ - проекція сили тяжіння на вісь v , $P_{n,d} = P_{n,d} \cos \alpha_{n,d}$;

$P_{n,d}$ - сила тяжіння $P_{n,d} = m_n g$;

g - прискорення вільного падіння;

$P_{n,dn}$ - проекція сили тяжіння на вісь In , $P_{n,dn} = P_{n,d} \sin \alpha_{n,d}$

Таким чином, вираз запишеться у вигляді

$$m_n r_n \omega_n^2 \leq \mu (m_n g \cos \alpha_{n,d} + 2m_n \omega_n v_{r,dn}) + m_n g \sin \alpha_{n,d}$$

6

Експериментальні дослідження

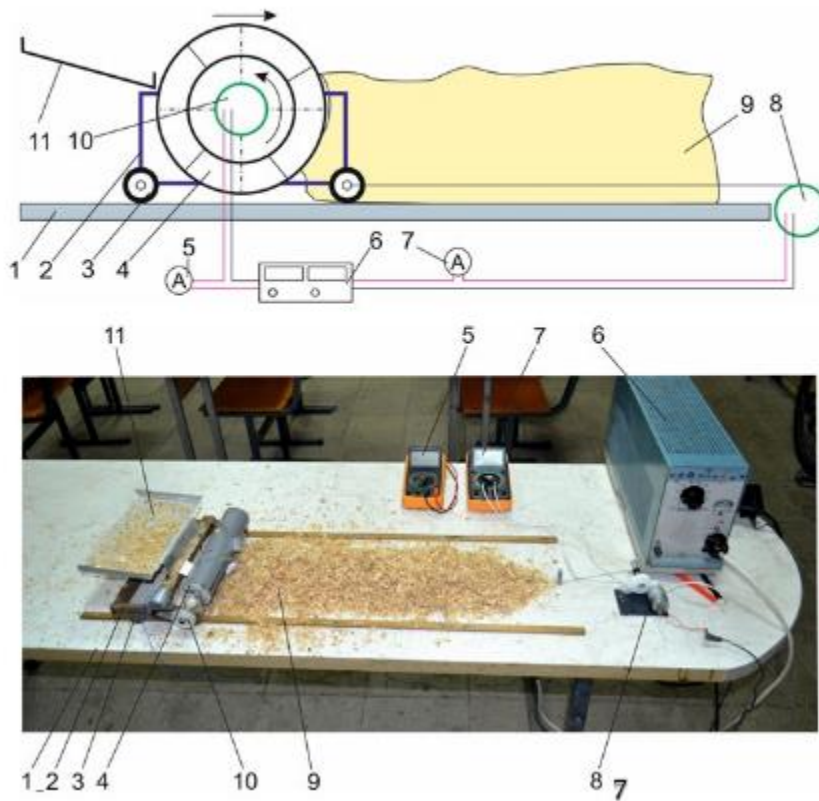


Рисунок 5 –
 Схема (а) та загальний вигляд (б) лабораторної установки: 1 – стіл; 2 – рама; 3 – опорне колесо; 4 – барабан; 5, 7 – амперметр; 6 – регульований двоканальний блок живлення 12 В; 8 – привод руху барабана; 9 – розпушувана маса; 10 – привод барабана; 11 – платформа

Експериментальні дослідження

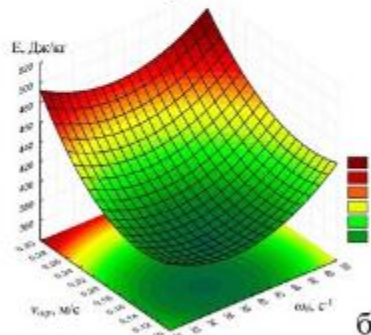
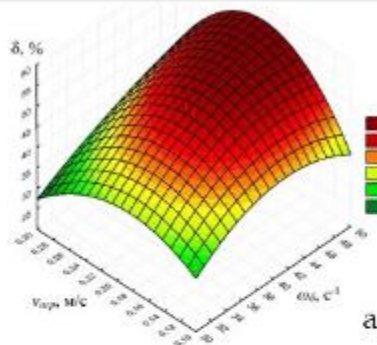


Рисунок 6 - Поверхні відгуку ступеня попадання частинок в зону взаємодії (а) та питомої енергоємності (б) при куті установки лопаті $\beta = 45$ град

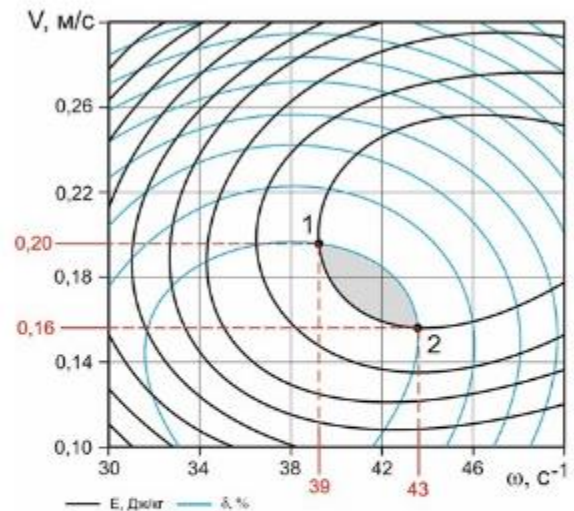
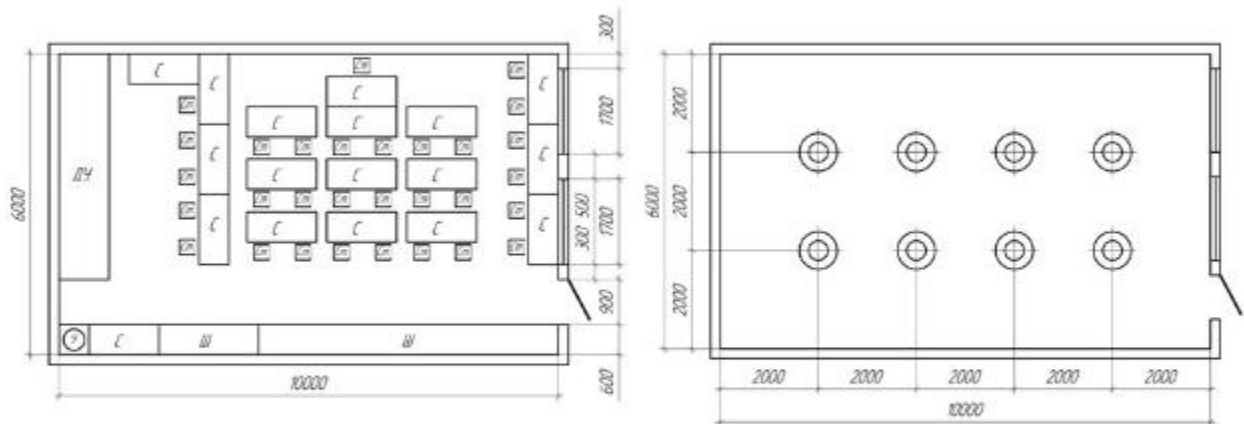


Рисунок 7 - Поєднані двомірні перетини поверхонь відгуку моделей ступеня попадання частинок і питомої енергоємності

Отримані раціональні значення параметрів: кутова швидкість обертання 43с^{-1} , поступальна швидкість руху 0.16 м/с ; кут нахилу лопаті до осі барабана 45° ; радіус барабанів 0.175 м , висота лопатей 0.095 м , ширина захвату лопаті 0.100 м .

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях



Ш – шафа; С – стіл; Ст – стілець; У – умивальник; ДУ
– лабораторний стенд доїльної установки

Рисунок 8 – Загальний вигляд приміщення лабораторії

Рисунок 9 – Схема розміщення
світильників у приміщенні

9

Показники економічної ефективності

Показник	Значення
Продуктивність, т/год.	20,0
Сумарна потужність, кВт	125,0
Обслуговуючий персонал, люд.	3
Балансова вартість, грн.	483200
Вартість отриманих добрив, грн./т.	1865,98
Питомі експлуатаційні витрати, грн./т	450,38
в т.ч.: заробітна платня	4,09
витрати на енергоресурси	34,06
амортизаційні відрахування	20,13
витрати на ТО та ремонт	16,78
Питомі витрати на зволоження, грн./т	2,40
Загальні питомі витрати, грн./т	452,78
Приріст вартості отриманих добрив, грн./т	548,29
Економічний ефект від приросту вартості, грн./т	95,51
Максимальне річне навантаження, т.	4320,0
Економія витрат при максимальному річному виробітку, грн.	412603,20
Строк окупності капітальних вкладень, років	1,17

10

Загальні висновки

1. Для виконання процесів підготовки сумішей і їх обробки на відкритих майданчиках найбільш перспективними є самохідні та причіпні розпушувачі буртів, як найбільш високопродуктивні і технологічні, що дозволяють реалізувати поточно-безперервний спосіб виробництва органічних добрив, але в даний час відсутнє вітчизняне промислове виробництво подібних технічних засобів.
2. Теоретично визначено основні параметри польоту, які в залежать від умов сходу частинок з лопатей барабанів, а саме кутів початку і закінчення сходу, швидкості сходу. Отримано залежності для визначення потужності на привід робочих органів і продуктивності розпушувача буртів, спільне рішення яких згідно з формулою дозволяє здійснити моделювання зміни питомої енергосмістості процесу обробки матеріалу в залежності від конструктивно-режимних параметрів буртів і фізико-механічних властивостей компостних сумішей.
3. Визначено оптимальні конструктивно-режимні параметри розпушувача буртів, які дозволяють якісно і з мінімальними витратами здійснювати процес підготовки компостів: кутова швидкість обертання 43с^{-1} , поступальна швидкість руху $0,16\text{ м/с}$; кут нахилу лопаті до осі барабана 45° ; радіус барабанів $0,175\text{ м}$, висота лопатей $0,095\text{ м}$, ширина захвату лопаті $0,100\text{ м}$. Мінімальне значення питомої енергосмістості роботи першого лопатевого барабана розпушувача буртів склало $398,8\text{ Дж/кг}$ при попаданні в зону взаємодії до 51% перемішуваної маси. Дані значення параметрів забезпечують питому енергосмістість роботи розпушувача буртів $E=1,9\text{ кДж/кг}$, з продуктивністю 20 т/год .
4. В цьому розділі було проведено аналіз стану охорони праці на місці проведення експерименту, розроблено інструкцію з охорони праці при роботі з розробленою машиною для компостування та приведено порядок дій при виникненні надзвичайної ситуації.
5. Таким чином, незважаючи на витрати, пов'язані з обробкою компосту розробленою машиною, що призводить до появи додаткових експлуатаційних витрат у розмірі $452,78\text{ грн./т}$, масмо економічний ефект від приросту вартості отриманих добрив за рахунок збільшення вмісту поживних речовин. При річному навантаженні 4320 т , термін окупності складе $1,17$ року.