МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«___»_____ 2026 р.
Зав. кафедри _д.т.н., професор___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ __Володимир ДІДУР___
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення технологічного процесу видалення гною на свинофермі з розробкою лопатевого аератора компосту»

Виконав: студент 4 курсу, групи 42-ім
освітньої програми___бакалавр_____
спеціальності _208 «Агроінженерія»_
__Саакян Мгер Серьожаєвич_____
(прізвище та ініціали)
Керівник к.т.н, доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2026

ЗМІСТ

ВСТУП 6

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ 8

1.1. Органічне добриво свинячого походження: склад і властивості 8

1.2. Сучасні технології утилізації та компостування свинячого гною 11

1.3. Висновки за розділом 14

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УТИЛІЗАЦІЇ СВИНЯЧОГО ГНОЮ 15

2.1. Концепція та стратегія компостування гнійних мас 15

2.2. Основні параметри та технологічні вимоги процесу 16

2.3. Обчислення інженерних параметрів системи 18

2.4. Побудова технологічного ланцюга утилізації гною 21

2.5. Висновки за розділом 24

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНЕ ВДОСКОНАЛЕННЯ АЕРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОМПОСТУВАННЯ 25

3.1. Техніко-економічна актуальність модернізації обладнання 25

3.2. Огляд та аналіз існуючих патентних рішень у сфері компостування 26

3.3. Обґрунтування конструктивних удосконалень аератора 29

3.4. Визначення основних геометричних параметрів обладнання 32

3.5. Дослідження робочих процесів та продуктивності агрегату 37

3.6. Перевірочний розрахунок привода та вала аератора на міцність 38

3.7. Висновки за розділом 42

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ 43

4.1. Система нормативного забезпечення та управління охороною праці 43

4.2. Заходи безпеки при реалізації технології прискореного компостування 44

4.3. Дії та заходи з безпеки при надзвичайних подіях 45

4.5. Висновки за розділом 46

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО АЕРАТОРА..... 47
5.1. Показники витрат та методика оцінки рентабельності 47
5.2. Висновки за розділом 49
ВИСНОВКИ 50
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... 51

ВСТУП

В контексті динамічного зростання та інтенсифікації аграрного сектору, одним із фундаментальних аспектів раціонального управління агропромисловим комплексом виступає оптимізація технологічних методик, пов'язаних із утилізацією біологічних відходів тваринництва. Подолання виклику ефективного видалення та комплексного перероблення гною на сучасних свинофермах є невідкладним питанням, що вимагає впровадження інноваційних підходів та передових технічних рішень. Значне скупчення гною створює не тільки серйозні санітарно-гігієнічні та екологічні ризики, але й репрезентує втрачений ресурс, прихований потенціал якого може бути ефективно розкритий у виробництві цінних органічних добрив шляхом біологічної трансформації через компостування.

Даний дипломний проект зосереджений на створенні та вдосконаленні інтегрованої технологічної схеми для утилізації гною на свинофермі, а також його подальшої переробки в енергетичних цілях у біогазовій установці. Ключовою складовою цього рішення є розробка інноваційного аераційного обладнання для оптимізації процесу компостування гною. Отриманий біогаз буде ефективно спрямований на забезпечення тепловою енергією для обігріву приміщень ферми. Унікальною конструктивною перевагою досліджуваної свиноферми є підлога, виконана з оптимальним кутом нахилу, що дозволяє гною гравітаційно відводитися, мінімізуючи потребу в додаткових механічних засобах очищення. Стратегічне завдання проекту полягає у суттєвому підвищенні результативності обробки органічних відходів тваринництва, зведенні до мінімуму негативного впливу на навколишнє середовище та забезпеченні генерації високоякісних органічних біодобрив.

У рамках дослідження будуть ретельно проаналізовані сучасні методи та передове обладнання для збору, транспортування та переробки гною, проведено комплексну оцінку ефективності існуючих рішень та виявлено їхні структурні обмеження. Основна увага приділяється розробці нового пристрою

для провітрювання компосту, який має забезпечити достатнє надходження кисню до матеріалу. Це, в свою чергу, значно покращить швидкість біологічного розкладу, підвищивши ефективність компостування та скоротивши терміни перетворення гною на цінне органічне добриво.

Проект охоплює ґрунтовні теоретичні обґрунтування та математичні моделювання, детальне конструктивне проєктування аератора, а також практичну апробацію та верифікацію його функціональної ефективності. Невід'ємним елементом роботи є комплексний економічний аналіз запропонованих рішень та оцінка їх позитивного впливу на екологічну стабільність та безпеку агропромислових підприємств.

Імплементація розробленого аератора для компостування на свинофермах зумовить не лише вдосконалення процесу видалення гною, але й відкриє перспективні горизонти для аграрного сектору, трансформуючи вторинну сировину на високоякісний цінний продукт. Це гармонійно вписується в концепцію сталого розвитку сільського господарства та сприяє ефективному збереженню природних екосистем.

Цей проект є вагомим доробком у прогрес екологічно чистих технологій та ресурсоощадних підходів в агропромисловому секторі, що повністю відповідає актуальним глобальним трендам сталого функціонування та забезпечення екологічної рівноваги.

РОЗДІЛ 1
ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ

1.1. Органічне добриво свинячого походження: склад і властивості

У сучасних умовах ведення аграрного виробництва спостерігається стійка тенденція до підвищення вартості мінеральних добрив, що безпосередньо пов’язано зі зростанням цін на продукцію хімічної промисловості. Це призводить до зниження економічної ефективності їх застосування у порівнянні з попередніми роками, зокрема до 2014 року. У результаті агровиробники змушені шукати альтернативні джерела елементів живлення рослин, насамперед сполук азоту, фосфору та калію (NPK-комплекс). У таких умовах органічні добрива поступово повертають своє значення в системах удобрення. Раніше вони часто недооцінювалися, однак сьогодні розглядаються як важливий елемент збалансованого живлення культур. Водночас повна заміна мінеральних добрив органічними є недоцільною, проте їх раціональне поєднання дозволяє забезпечити стабільність урожайності та покращення агрохімічного стану ґрунтів.

Особливу роль органічні добрива відіграють у формуванні та відновленні гумусу ґрунту. Гумус є основним показником родючості, оскільки забезпечує накопичення поживних речовин, покращує структурний стан ґрунтового профілю, підвищує водоутримувальну здатність та сприяє оптимізації повітряного режиму. Крім того, він виконує функцію природного сорбенту, зв’язуючи важкі метали та залишки пестицидів, тим самим зменшуючи їх негативний вплив на агроекосистему. Значна частина запасів ґрунтового азоту та фосфору акумулюється саме в гумусовій речовині, тому її зниження призводить до поступової деградації родючості.

Свинячий гній є одним із найбільш поширених видів органічних добрив у тваринництві. Його склад не є сталим і змінюється залежно від технології утримання тварин, раціону годівлі, системи прибирання та умов зберігання. У

сучасних інтенсивних технологіях переважає рідкий тип гною, що формується за рахунок використання щілинних підлог без застосування підстилки. Хімічний склад свинячого гною характеризується значною варіативністю залежно від регіону та рівня технологічного забезпечення виробництва. Так, середні показники для України (за вологості близько 96%) становлять приблизно: азот — 2 кг/т, фосфор — 1 кг/т, калій — 1,6 кг/т. У країнах із більш інтенсивними технологіями тваринництва, зокрема в Німеччині, ці значення можуть бути вищими, що пояснюється кращою організацією годівлі, зберігання та мінімізацією втрат поживних речовин у процесі утримання та переробки гною.

Таблиця 1.1

Агрохімічні показники свинячого гною в умовах вітчизняного виробництва

Технологічна форма гною	Питомий вміст макроелементів, кг/т			Сухий залишок, %
	Оксид калію (K_2O)	Оксид фосфору (K_2O_5)	Загальний азот (N)	
Рідка фракція	1,6	1	2	4
Напіврідкий субстрат	2,7	2	6	10
Твердий (підстилковий)	7	3	6	30

Серед компонентів свинячого гною особливе значення має азот, оскільки він входить до складу білків, ферментів та хлорофілу рослин і безпосередньо впливає на інтенсивність росту та розвитку культур. Рослини засвоюють азот переважно у вигляді нітратів (NO_3^-) та амонійних іонів (NH_4^+). При цьому амонійна форма є більш доступною на початкових фазах розвитку рослин, однак характеризується нестабільністю та схильністю до втрат у вигляді аміаку за несприятливих умов зберігання та внесення.

Ефективність застосування свинячого гною в агровиробництві безпосередньо пов’язана з кліматичними та ґрунтовими характеристиками регіону, демонструючи стабільне зростання результативності від південних територій України до північних.

Таблиця 1.2

Агрохімічні показники свинячого гною в німецькій практиці тваринництва

Концентрація поживних елементів, кг/т					Вміст сухої речовини, %
Магній (MgO)	Сульфат (SO3)	Оксид калію (K2O)	Оксид фосфору (K2O5)	Загальний азот (N)	
0,5	0,9	3	3	5	10
0,4	0,7	2,5	2	4	6
0,3	0,5	2	1	3	2

Ключовою перевагою даного добрива є пролонгований характер дії, відомий як ефект післядії, що забезпечує живлення культур протягом трьох вегетаційних періодів. Експериментально встановлено, що динаміка засвоєння поживних речовин становить близько 70% у перший рік після внесення, з подальшим вивільненням 10% та 5% у другий і третій роки відповідно. З огляду на такі властивості, використання свинячого гною є найбільш стратегічно доцільним при культивуванні багаторічних трав на зелену масу, а також у системах добрива озимих та ярих злакових культур.

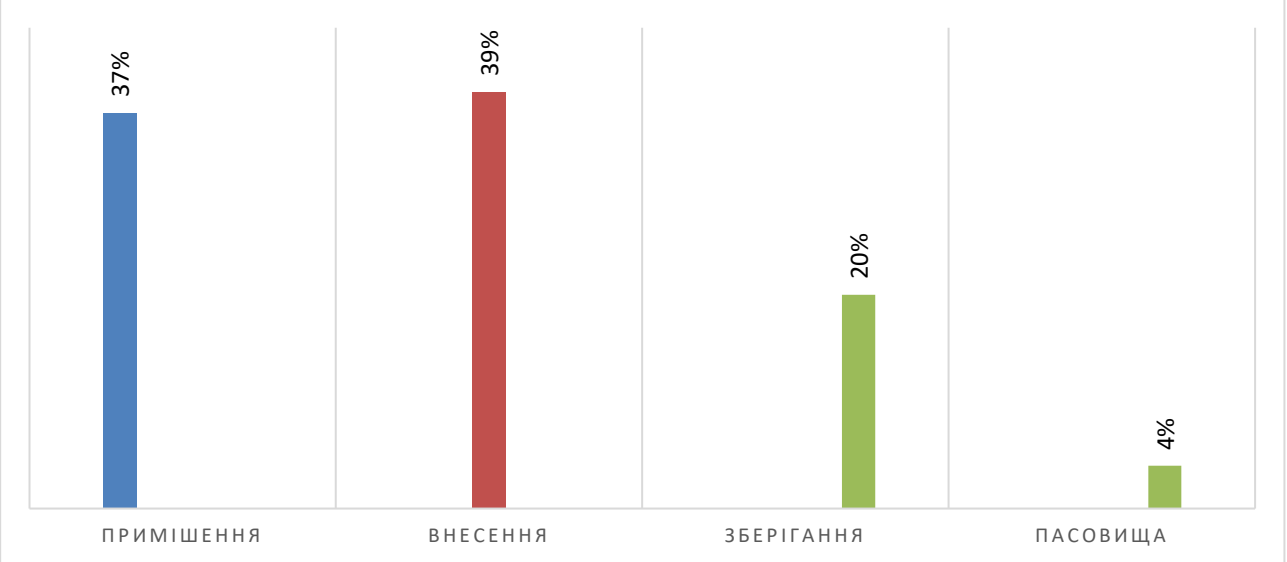

Рис.1.2. Динаміка втрат азоту при випаровуванні

У межах різних ґрунтово-кліматичних зон України встановлено диференційовані оптимальні норми застосування свинячого гною. Ця варіативність обумовлена відмінностями у вмісті органічної речовини (гумусу) в різних типах ґрунтів, їхніми фізико-хімічними характеристиками, пористою структурою та вологоутримувальною здатністю.

Таблиця 1.3

Рекомендовані норми внесення свинячого гною в агровиробництві

Рекомендована норма внесення, т/га	Вид сільськогосподарської культури
80	Багаторічні трави
від 80 до 100	Просапні культури (кукурудза, соняшник)
від 60 до 80	Озимі зернові культури

З метою досягнення максимальної ефективності використання поживного потенціалу свинячого гною, його доцільно застосовувати безпосередньо перед початком фази інтенсивного вегетативного розвитку культур, що відповідає періоду найактивнішого споживання ними поживних елементів.

Слід наголосити, що для оптимізації результатів від застосування органічних добрив, включаючи свинячий гній, принципове значення має проведення агрохімічного аналізу як самого органічного матеріалу, так і ґрунтового субстрату. По-перше, це дозволить об'єктивно оцінити фактичний вміст поживних елементів у конкретній партії добрива. По-друге, на підставі результатів ґрунтового аналізу стане можливим обґрунтований розрахунок необхідної дози органічного добрива для внесення на конкретні поля.

1.2. Сучасні технології утилізації та компостування свинячого гною

Компостування являє собою складний багатостадійний процес біологічного окиснення органічної речовини, що супроводжується інтенсивним виділенням теплової енергії внаслідок життєдіяльності аеробних мікроорганізмів. У контрольованих умовах температурного режиму та вологості відбувається глибока деструкція органічної маси з формуванням стабілізованого продукту — компосту, який виступає ефективним органічним добривом і сприяє покращенню агрофізичних властивостей ґрунту.

У сучасному агропромисловому виробництві застосовується широкий спектр технологій переробки гнойових мас, серед яких найбільш поширеними є

анаеробне зброджування з метою отримання біогазу, а також аеробна біотермічна ферментація, що реалізується як у стаціонарних установках, так і відкритим способом у буртах або валках.

Проведений аналіз існуючих технологічних рішень свідчить, що більшість індустріальних методів характеризуються значною капіталоємністю, високими витратами енергетичних ресурсів та значною металоємністю обладнання. За таких умов для господарств типу ПП «Сігма» найбільш раціональним і економічно обґрунтованим варіантом є застосування технології аеробного компостування у валках. Зазначений підхід забезпечує отримання екологічно безпечного органічного добрива за рахунок природного біотермічного знезараження, що дозволяє ефективно знищувати насіння бур'янів, патогенну мікрофлору та личинки паразитів без використання хімічних засобів. Визначальними факторами ефективності процесу є ступінь однорідності суміші компонентів, а також рівень аерації, що забезпечує достатнє постачання кисню до зони активної біохімічної трансформації.

Метод поверхневого компостування застосовується для виробництва органомінеральних сумішей із заздалегідь визначеними фізико-хімічними характеристиками. Ця технологія передбачає розміщення вологої органічної маси на спеціально підготовленій ділянці, формуючи шар товщиною 25-30 см. На наступному етапі, за допомогою розпилювальних систем, вносяться калієві або кальцієві мінеральні добавки, які потім покриваються шаром органічної складової (гною). За потреби до суміші додається фосфоритне борошно, після чого всі компоненти ретельно перемішуються за допомогою важкого дискового агрегату. Сформована маса акумулюється бульдозером у призми або вали шириною 4-6 метрів та висотою 3-3,5 метра.

Ключовою перевагою даної технології є можливість виробництва органомінерального композиту із заданими властивостями, що забезпечує його ефективне застосування в умовах аграрних підприємств. Однак, критичним недоліком є нерівномірний розподіл компонентів, спричинений відсутністю спеціалізованих технічних засобів для гарантування однорідності

технологічного циклу. Незважаючи на це, дана технологія характеризується найвищим рівнем економічної доступності серед різноманітних технологій компостування, що обумовлено мінімальними капіталовкладеннями.

Рис. 1.3. Основні системи переробки та зберігання гнойових мас на фермах

Вибір оптимальної технологічної схеми компостування визначається сукупністю виробничих факторів, серед яких ключовими є система утримання тварин, логістика транспортування органічної сировини до місць внесення, обсяги утворення відходів, а також рівень забезпеченості підприємства технічними засобами. Розробка та впровадження інноваційних технологій переробки органічних відходів тваринництва є одним із пріоритетних напрямів науково-технічного розвитку агропромислового комплексу.

Удосконалення існуючих та створення нових технологій є об’єктивною необхідністю для забезпечення функціональної ефективності систем поводження з органічними відходами тваринництва, з огляду на посилення екологічних та гігієнічних стандартів, а також норм охорони праці. Динамічне зростання вартості сировинних ресурсів обумовлює необхідність їх

раціонального споживання, що стимулює відмову від використання неефективних підходів або їх кардинальну модернізацію.

1.3. Висновки за розділом

Аналіз існуючих технологій переробки органічних відходів показав, що для умов даного підприємства найбільш доцільним є застосування технології аеробного біотермічного компостування у валках. Даний метод характеризується оптимальним співвідношенням між капітальними витратами та якістю отриманого продукту, забезпечуючи ефективне знезараження органічної маси від патогенних мікроорганізмів і насіння бур’янів без використання складних та енергоємних стаціонарних установок.

Встановлено, що визначальними факторами інтенсифікації процесу компостування є забезпечення достатнього рівня аерації та досягнення високої однорідності суміші компонентів, що безпосередньо впливає на швидкість біотермічних процесів і якість кінцевого компосту.

У зв’язку з цим обґрунтовано необхідність розробки спеціалізованого технічного засобу — аератора-змішувача, призначеного для оптимізації процесу компостування. Впровадження зазначеного технічного рішення сприятиме підвищенню ефективності технологічного процесу компостування, забезпечить інтенсифікацію біотермічних процесів, покращить агрохімічні показники кінцевого продукту та дозволить адаптувати виробництво до сучасних екологічних і ресурсозберігаючих вимог.

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УТИЛІЗАЦІЇ СВИНЯЧОГО ГНОЮ

2.1. Концепція та стратегія компостування гнійних мас

Формування сучасного технологічного циклу переробки гною є важливою складовою ефективного управління вторинними ресурсами в аграрному секторі. Компостування розглядається як один із найбільш збалансованих підходів, що поєднує екологічну безпеку та економічну доцільність при перетворенні органічної сировини на повноцінне добриво.

Під час проєктування технологічного процесу особливу увагу слід приділяти організації накопичення та підготовки сировини, оскільки якість вихідного матеріалу безпосередньо впливає на характеристики готового компосту. Важливим етапом є також оптимізація складу суміші, зокрема дотримання співвідношення вуглецю до азоту (C:N), що забезпечує ефективне мікробіологічне розкладання органічної речовини. Ефективність компостування визначається підтриманням оптимального гідротермічного режиму. Контроль вологості, температури та аерації є необхідною умовою для активної діяльності аеробних мікроорганізмів. Використання сучасного обладнання з елементами моніторингу дозволяє стабілізувати ці параметри, запобігаючи утворенню анаеробних зон і зменшуючи викиди шкідливих газів. Важливу роль відіграє регулярне перемішування маси, що забезпечує її однорідність і прискорює процес дозрівання.

Окрім технологічних аспектів, стратегія утилізації передбачає дотримання екологічних норм і вимог охорони праці. Контроль за викидами та зменшення негативного впливу на довкілля є необхідною умовою сталого розвитку підприємства. Отриманий компост сприяє відновленню родючості ґрунтів і підвищенню врожайності культур. Важливим етапом є також впровадження системи контролю та моніторингу основних параметрів процесу.

Таким чином, розробка технології компостування є комплексним завданням, яке потребує врахування технологічних, екологічних та економічних факторів. Її впровадження забезпечує раціональне використання органічних ресурсів, покращення стану ґрунтів і підвищення ефективності аграрного виробництва.

2.2. Основні параметри та технологічні вимоги процесу

Процес утилізації свинячого гною базується на сукупності технологічних умов, що визначають ефективність збору, транспортування та подальшої переробки органічної сировини.

Вихідні дані для розрахунку продуктивності системи утилізації базуються на нормативних об’ємах екскрементів та їх фізико-хімічному складі для різних статево-вікових груп тварин, що представлені у таблиці 2.1.

Для розрахунку загальної потужності дільниці компостування необхідно враховувати фактичну структуру поголів’я господарства.

Таблиця 2.1

Нормативні параметри складу та утворення екскрементів у свинарстві

Технологічні групи	Фракція сечі, кг	Вологість сечі, %	Фракція калу, кг	Вологість калу, %	Загальна маса виділень, кг	Загальна вологість, %
Поросята 60–106 діб	1,10	96,3	0,70	71,4	1,80	86,1
Поросята 26–42 діб	0,30	96,7	0,10	70,0	0,40	90,0
Свині понад 70 кг	3,80	96,9	2,70	74,7	6,50	87,5
Свині до 70 кг	2,95	96,7	2,05	73,0	5,00	87,0
Свиноматки (лактаційні)	11,00	96,8	4,30	73,1	15,30	90,1
Свиноматки (поросні)	7,40	97,3	2,60	73,1	10,00	91,0
Свиноматки (без поросності)	6,34	97,5	2,46	73,8	8,80	90,0
Кнури	7,24	97,0	3,80	75,0	11,10	89,4

Враховуючи високий рівень вологості свинячих екскрементів, який може сягати 96% [1], доцільним є впровадження систем утримання з похилою щілинною підлогою. Таке рішення дозволяє суттєво оптимізувати витрати за рахунок відмови від підстилкових матеріалів та спрощення механізмів гноєвидалення. Окрім економічного ефекту, безпідстилковий метод сприяє інтенсифікації біотермічних процесів: термін дозрівання чистого гною становить близько 3 місяців, тоді як наявність підстилки уповільнює розкладання органіки у 1,5–3 рази [2].

Розподіл тварин за технологічними групами наведено у таблиці 2.2

Таблиця 2.2

Структура поголів'я свиней за виробничими категоріями

Категорія тварин	Кількість, гол
Поросята 43–60 днів	1000
Поросята 60–106 днів	800
Поросята 26–42 днів	1200
Свині на відгодівлі понад 70 кг	1150
Свині на відгодівлі до 70 кг	2200
Свиноматки (супоросні)	150
Свиноматки (підсисні)	90
Свиноматки (холості)	45
Кнури	15
Загальна чисельність	6650

Окрім кількісних показників, формування технологічного процесу переробки гною повинно враховувати основні технологічні умови, які забезпечують стабільність та ефективність біологічного розкладання органічної сировини.

Ефективність процесу значною мірою залежить від мікробіологічної активності та доступу кисню до маси. Для нормального перебігу аеробних процесів необхідно забезпечити достатню аерацію субстрату шляхом його регулярного перемішування або використання систем вентиляції. Це дозволяє уникнути утворення анаеробних зон та процесів гниття.

Важливим параметром є вологість компостної маси. Оптимальний її рівень становить 40–60%. При перевищенні цього діапазону знижується

проникність повітря, що призводить до уповільнення процесів розкладання та появи небажаних запахів. Недостатня вологість, у свою чергу, знижує активність мікроорганізмів і уповільнює біоконверсію.

Не менш важливим є температурний режим. У процесі компостування маса повинна самонагріватися до 45–65°C, що забезпечує розвиток термофільної мікрофлори та сприяє знезараженню органічного матеріалу. Підтримання стабільної температури досягається за рахунок перемішування та аерації. Тривалість процесу залежить від обраної технології переробки та умов експлуатації і може коливатися від кількох місяців до одного року. У зв'язку з цим проєктування технологічних майданчиків повинно передбачати достатній обсяг і площу для витримування компосту до досягнення ним зрілого стану.

Окрему увагу слід приділяти питанням санітарної безпеки. Весь технологічний цикл має відповідати вимогам екологічної та виробничої безпеки, включаючи використання засобів індивідуального захисту, контроль біологічної чистоти матеріалу та дотримання регламентів обробки обладнання.

2.3. Обчислення інженерних параметрів системи

Для проектування технічних засобів переробки необхідно визначити фактичні об'єми біологічної сировини. Сумарний добовий вихід гноївки на підприємстві розраховується як сума продуктів життєдіяльності кожної статево-вікової групи тварин:

$$G_{Д} = \Sigma m_i \cdot q_i, \quad (2.1)$$

Де m_i – чисельність тварин і-тої виробничої групи, особин;

q_i - середньодобова продукція екскрементів однією особиною, кг;

На основі аналізу даних, представлених у таблицях 2.1 та 2.2, встановлено, що сумарний добовий обсяг гноївки становить 24535 кг.

Далі буде виконано розрахунок обсягу гною, що акумулюється протягом доби:

$$V_{\text{г}} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot G_{\text{Д}}}{\gamma}, \quad (2.2)$$

Де k_2 - коефіцієнт, що враховує потенційне надходження сторонніх фракцій у загальну систему стоків, значення якого становить 1,05;

k_1 – коефіцієнт, який відбиває сезонну варіативність обсягів генерації органічних відходів, також прийнятий як 1,05;

γ – питома густина органічного субстрату, що дорівнює 1030 кг/м³ [4].

Наступним кроком є підстановка цих визначених параметрів у рівняння (2.2) для подальших обчислень:

$$V_{\text{г}} = \frac{1{,}05 \cdot 1{,}05 \cdot 24535}{1030} = 26{,}3 \text{ м}^3$$

Згідно з регламентом, термін перебування маси в накопичувачі не повинен перевищувати 14 діб для запобігання неконтрольованому бродінню. Прийнявши розрахунковий час накопичення (10 діб), визначимо загальну місткість резервуара:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{г}} \cdot t_{\text{нак}} = 26{,}3 \cdot 10 = 263 \text{ м}^3$$

Враховуючи наявність на підприємстві біогазового комплексу, вся отримана маса спрямовується на ферментацію. При дотриманні термофільного режиму (W = 93%) норма добового завантаження становить 14%. Розрахуємо тривалість експозиції субстрату в реакторі [5]:

$$t = \frac{1}{\text{Д}} = \frac{1}{0{,}14} \approx 7 \text{ діб} \quad (2.3)$$

Відповідно, сумарний корисний об’єм реакторної групи має забезпечувати переробку за весь цикл:

$$V_{\text{р}}' = V_{\text{г}} \cdot t = 263 \cdot 7 = 1841 \text{ м}^3 \quad (2.4)$$

Під час нагрівання біомаси до робочих температур відбувається її теплове розширення. Визначимо зміну об’єму при підвищенні температури з 5 до 54 °C (Δt =49 °C):

$$\Delta V_{\text{р}} = \beta \cdot V_{\text{р}}' \cdot \Delta t, \quad (2.5)$$

Де β - коефіцієнт об'ємного температурного розширення, для побутових стічних вод приймається рівним $0.00015°C^{-1}$;

Δt – температури маси середовища в процесі його нагрівання від початкового значення 5 °С до кінцевого 54 °С, що становить 49 °С. Зазначені величини були використані для підстановки у формулу (2.5), що дозволило виконати наступний розрахунок:

$$\Delta V_{\text{р}} = 0{,}00015 \cdot 1841 \cdot 49 = 14 \text{ м}^3$$

Беручи до уваги, що значна частка внутрішнього об'єму реактора буде відведена під розміщення технологічного обладнання та систем трубопроводів, а також необхідність передбачити певний резервний об'єм, що характеризується сукупним коефіцієнтом заповнення $\varphi_{\text{заг}}$ у діапазоні 0,7 … 0,8, стає можливим розрахувати кінцевий об'єм колодязя:

$$V_{\text{р}} = \frac{V'_{\text{р}} + \Delta V_{\text{р}}}{\varphi_{\text{заг}}} = \frac{1841 + 14}{0{,}8} = 2319 \text{ м}^3 \quad (2.6)$$

Визначимо потужність насоса, що забезпечить відкачування заданого об’єму гною за наступною формулою:

$$\text{P} = \frac{\text{Q} \cdot \text{H} \cdot \gamma \cdot \text{g}}{\eta}, \quad (2.7)$$

Де g – прискорення вільного падіння, м/с^2;

Q – об'ємна витрата, що характеризує потік, м^3/с;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) насоса;

H – необхідний напір, який повинен забезпечувати насос, м.

Значення напору (Н) прийнято на рівні 10 м, що відповідає всім встановленим вимогам. Загальноприйняте значення прискорення вільного падіння (g) дорівнює 9,81 м/с². Згідно з літературними джерелами [7], коефіцієнт корисної дії більшості насосів знаходиться в діапазоні від 0,75 до 0,85; для подальших розрахунків встановлюється η = 0,8.

Далі необхідно визначити величину об'ємної витрати, враховуючи, що тривалість процесу перекачування не повинна перевищувати 24 години (однієї доби). Таким чином:

$$Q = \frac{V_{max}}{86400} = \frac{2319}{86400} = 0{,}027\,\frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 97{,}2\,\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \qquad (2.8)$$

Після визначення усіх релевантних величин, здійснюється їхня підстановка у вираз (2.7):

$$P = \frac{0{,}027 \cdot 10 \cdot 1030 \cdot 9{,}81}{0{,}8} = 3410\ \text{Вт}$$

На підставі розрахункових значень об'ємної витрати та вимог до потужності, було здійснено підбір насосного агрегату моделі GMVP 200/085. Його технічні характеристики включають об'ємний потік (Q), що становить 115 м³/год, споживану потужність (P) у 4 кВт та номінальну частоту обертання (n) 1450 хв⁻¹. [7]

2.4. Побудова технологічного ланцюга утилізації гною

На основі проведених розрахунків та аналізу методів біоконверсії розроблено комплексну технологічну схему (рис. 2.1), яка забезпечує повний цикл утилізації відходів: від збору сировини до отримання високоякісного добрива та енергоносіїв.

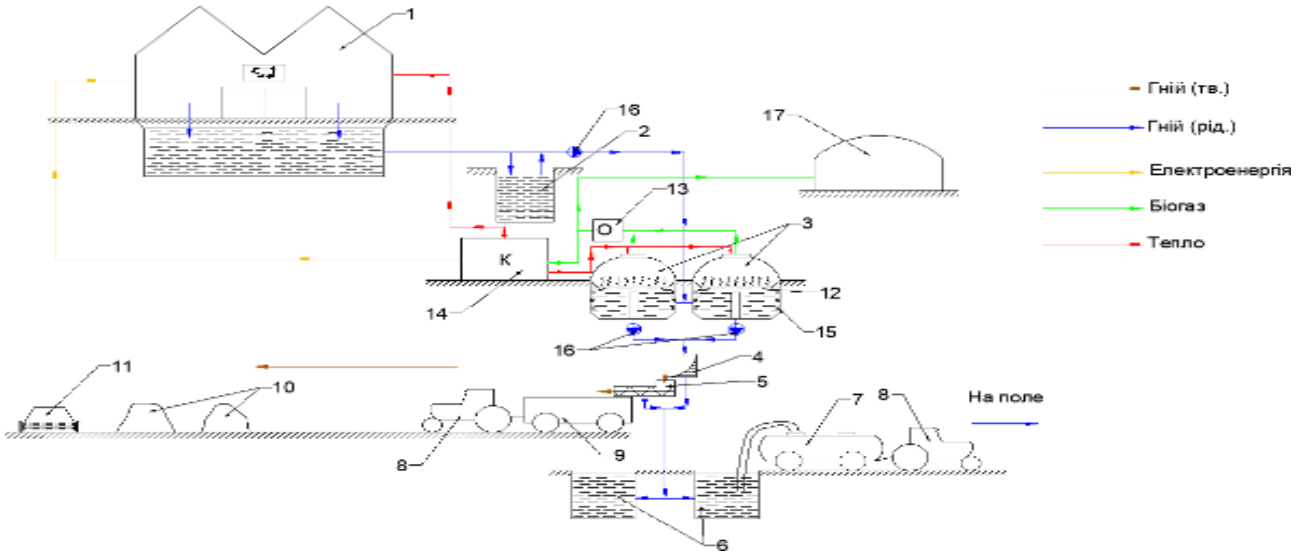

Рис. 2.1. Загальна технологічна схема циклу видалення та біоконверсії гною:

1 – свинарник; 2 – первинний резервуар-накопичувач; 3 – газові реактори; 4 –

дуговий сітчастий сепаратор; 5 – прес-сепаратор для розділення фракцій 1Т-ВПО-20А; 6 – відкриті сховища; 7 – бак(оприскувач); 8 – сільськогосподарський тягач; 9 – транспортний причіп; 10 – бурти; 11 – аератор-змішувач; 12 – обладнання для насичення рідини киснем; 13 - установка для дегідратації; 14 – когенератор; 15 – системи підігріву; 16 – відцентровий насос GMVP 200/085; 17 – резервуар для зберігання біогазу

Для оптимізації метаногенезу та вирівнювання співвідношення вуглецю до азоту (C:N) передбачено можливість додавання подрібненої соломи. Процес протікає в термофільному режимі, який підтримується нагрівальними елементами (15). Для зменшення тепловтрат реактори частково заглиблені в ґрунт. Постійна гомогенізація субстрату в реакторах здійснюється рідинним аератором (12), що запобігає утворенню осаду та кірки.

Після завершення циклу газоутворення переброжений субстрат спрямовується на дугове сито (4) (рис. 2.2). Тут відбувається первинне розділення маси на фракції. Рідка фаза відводиться в лагуни (6), де вона проходить етап стабілізації перед використанням для зрошення або внесення в ґрунт рідким способом.

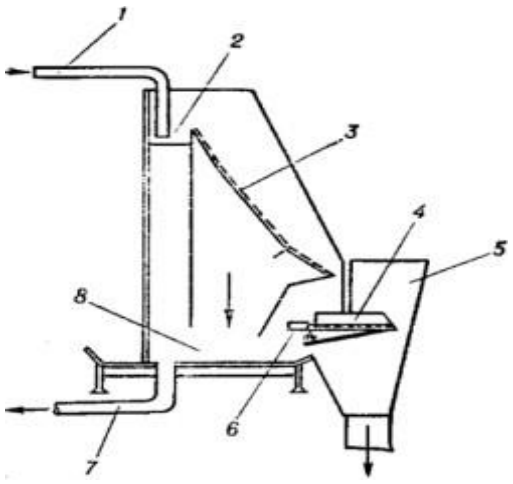

Рис. 2.2. Конструктивно-функціональна схема дугового сита для розділення фракцій:

1 –вхідний трубопровід; 2 – розподільчий жолоб; 3 – похила перфорована площа; 4 –поворотний елемент (відбивач); 5 – приймач твердої фази; 6 – компенсаційний вантаж; 7 – відвідний канал рідкої фракції; 8 - колектор фільтрату

Технологічний ланцюг починається зі свинарника (1), обладнаного системою накопичувальних ванн. Видалення гною відбувається самопливним методом до загальнофермського накопичувача (2). Звідти за допомогою підібраного насосного агрегату GMVP 200/085 (16) біомаса подається в метантенки (3) для анаеробного зброджування.

Тверда ж фракція гною після дугового сита потрапляє в прес-сепаратор 1Т-ВПО-20А (5) (рис. 2.3). Даний пристрій забезпечує остаточне зневоднення маси, видаляючи залишкову вологу, яка повертається в загальну лінію рідких стоків.Зневоднений твердий продукт завантажується у причеп (9) і транспортується на спеціалізований майданчик для компостування. Формування буртів (10) дозволяє запустити процес аеробної стабілізації. Ключовим елементом на цьому етапі є вдосконалений аератор-змішувач (11), який проводить циклічне ворошіння маси, насичуючи її киснем та забезпечуючи рівномірний температурний режим по всьому об’єму бурта.

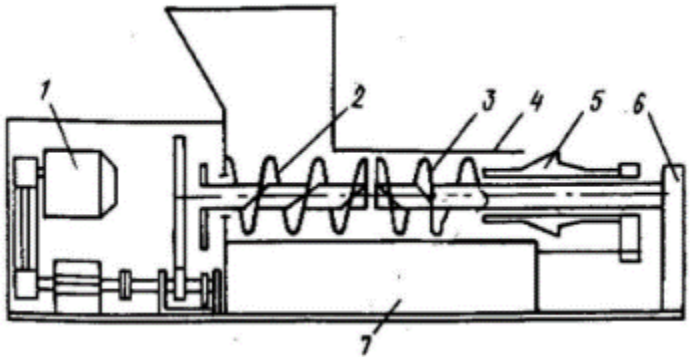

Рис. 2.3. Загальний вигляд та вузли шнекового преса-сепаратора 1Т-ВПО-20А:

1 – електричний привод; 2 –живильний шнек; 3 – компресійний шнек; 4 – перфорований циліндр; 5 – регулюючий конус; 6 – гідравлічний привод регулюючого конуса; 7 – захисний корпус

2.4. Висновки за розділом

На основі виконаних технологічних та інженерних розрахунків у межах даного розділу отримано узагальнені результати, що дозволяють обґрунтувати прийняті рішення щодо організації процесу утилізації свинячого гною.

Насамперед визначено ключові параметри, необхідні для подальшого опрацювання технології. З урахуванням структури поголів'я підприємства (загальною чисельністю 6350 голів) та нормативних показників утворення екскрементів для різних статево-вікових груп встановлено, що сумарний добовий вихід гноївки становить 24535 кг, що відповідає об'єму 26,3 м³. На основі отриманих розрахункових даних здійснено підбір основного технологічного обладнання. Зокрема, відповідно до визначених значень об'ємного потоку (0,027 м³/с) і необхідної потужності (3,4 кВт) обрано фекальний насос типу GMVP 200/085, який забезпечує надійне транспортування гнойової маси до біореакторів.

Подальшим етапом стало формування узагальненої технологічної схеми утилізації. Запропонований технологічний ланцюг передбачає анаеробне зброджування органічної сировини з подальшим розділенням продукту на рідку та тверду фракції. Для підвищення ефективності процесу механічного зневоднення обґрунтовано використання дугового сита та шнекового прес-сепаратора типу 1Т-ВПО-20А.

Завершальним елементом технології є стадія компостування твердої фракції. Встановлено, що для отримання стабілізованого та агрономічно цінного продукту необхідна додаткова аеробна обробка в буртах. У зв'язку з цим доцільним є застосування удосконаленого аератора-змішувача, конструктивне обґрунтування якого буде наведено у наступному розділі.

РОЗДІЛ 3
КОНСТРУКТИВНЕ ВДОСКОНАЛЕННЯ АЕРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОМПОСТУВАННЯ

3.1. Техніко-економічна актуальність модернізації обладнання

Удосконалення конструкції аератора-змішувача для компостування гною є важливим напрямом підвищення ефективності технологічного процесу переробки органічних відходів на свинофермах. Це зумовлено необхідністю зниження енергоємності обладнання, підвищення якості отримуваного компосту та мінімізації негативного впливу на довкілля.

Проблема енергоспоживання є однією з ключових у процесі механізованого компостування. Існуючі типи аераторів характеризуються значними витратами енергії, особливо при тривалій безперервній або періодичній роботі. У зв’язку з цим розробка конструкцій з підвищеною енергоефективністю дозволяє зменшити витрати електроенергії або палива на одиницю переробленої сировини, що є економічно доцільним для сільськогосподарських підприємств. Важливим аспектом є також екологічна складова. Зменшення енергоспоживання безпосередньо сприяє скороченню викидів парникових газів, що утворюються під час виробництва та використання енергоресурсів. Крім того, ефективна аерація компостної маси знижує ризик утворення неприємних запахів та покращує санітарний стан виробничих майданчиків.

З економічної точки зору впровадження удосконаленого аератора дозволяє знизити собівартість виробництва органічного добрива. Це підвищує рентабельність підприємства та забезпечує більш ефективне використання наявних ресурсів, зокрема гною як вторинної сировини. Технологічне удосконалення також спрямоване на інтенсифікацію біологічних процесів компостування. Оптимізована форма та розташування робочих органів забезпечують більш рівномірне перемішування маси та її насичення киснем, що

прискорює розклад органічних речовин і скорочує загальний цикл дозрівання компосту. Окремо слід відзначити перспективність впровадження сучасних конструктивних рішень, зокрема використання автоматизованих систем керування, дозованого зволоження та інокуляції мікроорганізмами. Такі підходи дозволяють підвищити стабільність процесу та адаптувати обладнання до різних умов експлуатації.

Таким чином, удосконалення конструкції аератора компосту є актуальною як з технічної, так і з економічної та екологічної точок зору, оскільки забезпечує комплексне підвищення ефективності технологічного процесу переробки гною.

3.2. Огляд та аналіз існуючих патентних рішень у сфері компостування

Для обґрунтування конструктивних рішень удосконаленого аератора компосту проведено аналіз відомих патентних розробок у сфері механізованого компостування та переробки органічних відходів. Розгляд існуючих технічних рішень дозволяє визначити їхні переваги, недоліки та можливості подальшого вдосконалення з урахуванням енергоефективності, продуктивності та якості процесу аерації.

Одним із відомих рішень є патент SU2352093C1 «Машина для приготування компостів». Даний пристрій призначений для інтенсифікації процесу компостування шляхом механічного подрібнення, перемішування та примусової аерації маси. Конструкція містить барабани-подрібнювачі з лопатями, а також систему подачі повітря за допомогою вентилятора. Підвищення ефективності процесу досягається за рахунок одночасного механічного впливу на компостну масу та її примусового насичення повітрям через перфоровані елементи. До недоліків такого рішення можна віднести складність конструкції, підвищені енергетичні витрати та значну металоємність обладнання, що обмежує його широке застосування.

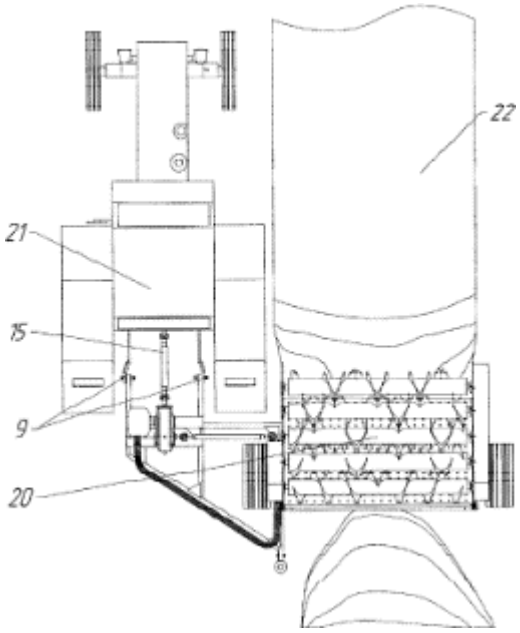

Рис. 3.1. Конструктивна схема машини для приготування компосту:

9 – зчіпний механізм; 15 – карданний трансмісійний вал; 20 – вдосконалена машина; 21 – трактор; 22 – компостний вал

Іншим технічним рішенням є патент US3369797A «Машина для формування валків та перевертання компосту» [6]. Ключовим завданням даного патентованого винаходу є створення самохідного механізму, призначеного для періодичної аерації та перевертання компостних штабелів, що відрізняється вдосконаленою здатністю до розпушування органічної маси.

Процес функціонування передбачає розміщення пристрою позаду вантажного транспортного засобу. При цьому кузов вантажівки-самоскида піднімається у положення розвантаження, а транспортний засіб повільно пересувається вперед. Машина синхронно слідує за ним, приймаючи сировину. Поданий вихідний матеріал надходить у приймальну камеру пристрою, де його захоплює високошвидкісний обертовий барабан (38) під час руху установки. Ріжучі, ударні та викидні поверхні барабана забезпечують дезінтеграцію та фрагментацію компостної маси, подаючи її вгору та назад через конічний вивантажний канал апарату. Специфічна лівостороння конфігурація зубців (44) у поєднанні зі спрямованим кутом нахилу метальних лопатей (45) оптимізує траєкторію руху фрагментованого компосту, забезпечуючи його розподіл у вертикальній площині. Оброблені компоненти виводяться з механізму через конічний розвантажувальний отвір і формують неперервний штабель (валок).

Параметри ширини штабеля можуть бути контрольовані шляхом регулювання інтервалу між формуючими елементами задніх крил (56), що здійснюється за допомогою гідравлічного приводу (59).

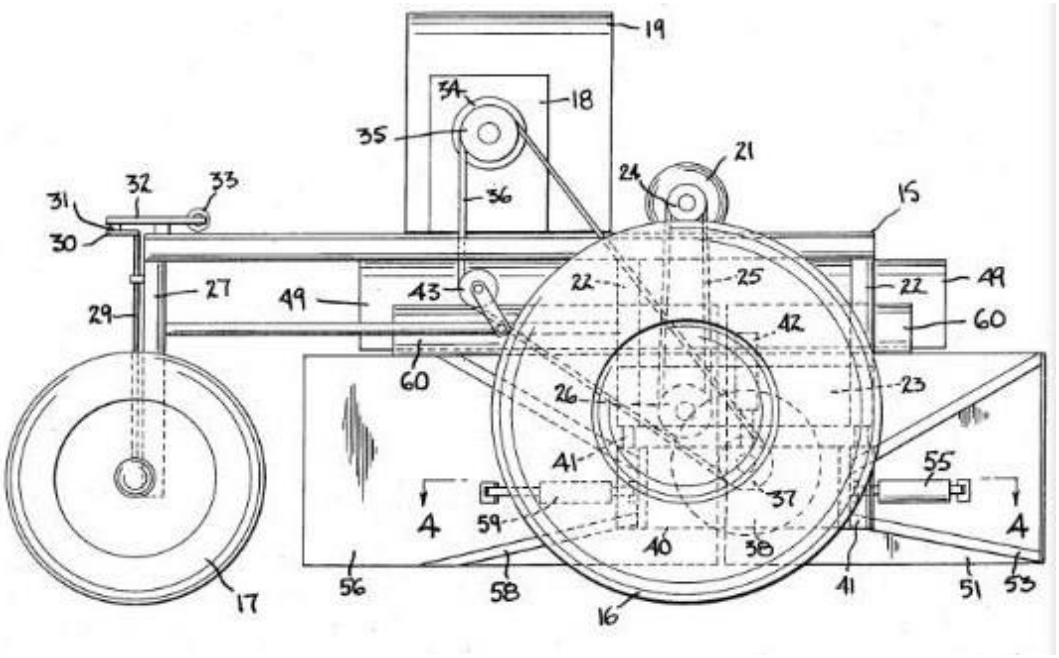

Рис. 3.2. Бічний вигляд удосконаленого варіанта конструкції:

15 – задня частина несучої рами; 16 – опорний рушійний елемент; 18 – двигун; 19 – допоміжне джерело енергії; 21 – вал для передачі крутного моменту; 22,27 – вертикальні опорні елементи; 23,38 – елемент шарнірного з'єднання; 24,26 – зірочка; 25 – передавальний ланцюговий механізм; 29 – штанга; 30 – верхні колінчасті важелі; 31 – стяжка; 32 – важіль; 33 – виконавчий стрижень гідравлічного приводу; 34 – вал відбору потужності; 35,37 – зубчасті колеса; 36 – передаточний ланцюг; 38 - обертовий циліндричний елемент; 40 – опорний вузол; 42 – гідроциліндр подвійної дії; 43 – підпружинений натяжний зубчастий елемент; 44 – елементи з радіальним розташуванням; 51,56 – крила; 53 – елемент, що працює на розтяг; 55,59 – гідравлічний циліндр; 58 – діагональна опорна розпірка

Висота сформованого валка залежить від швидкості переміщення агрегату та лімітується рівнем верхнього захисного щитка (49). Описана методика застосовується для обробки компостного матеріалу, що надходить з послідовних вантажів, забезпечуючи таким чином фрагментацію та формування рівномірного валка безперервної довжини. У випадку роботи на

ділянках з нерівним рельєфом або наявністю значних сторонніх включень (каміння, валуни), які можуть пошкодити робочі елементи ротора (44), гідравлічний циліндр (42) активується для підняття ротора (38) разом з бічними щитками (51) і (56) на безпечну висоту над поверхнею. Це дозволяє уникнути контакту з перешкодами та запобігти пошкодженню агрегату. Ротор та щитки також можуть бути підняті до транспортного положення, коли виникає необхідність переміщення пристрою без використання його функцій аерації та формування валків.

Аналіз наведених патентних рішень показує, що існуючі конструкції забезпечують або ефективне механічне перемішування, або інтенсивну аерацію, проте рідко поєднують ці функції в одній енергоефективній системі. Крім того, більшість відомих машин характеризуються складністю конструкції та високими експлуатаційними витратами.

Отже, виявлені недоліки існуючих технічних рішень обґрунтовують необхідність розробки удосконаленого аератора компосту, який би забезпечував одночасне ефективне перемішування, насичення киснем та формування буртів при знижених енергетичних витратах і спрощеній конструкції.

3.3. Обґрунтування конструктивних удосконалень аератора

Модернізація конструкції спрямована на створення високоефективного аератора-змішувача, який забезпечує інтенсивне перемішування компостної маси, її рівномірне насичення киснем та формування стабільних буртів при мінімальних питомих витратах енергії. Досягнення цього забезпечується за рахунок раціонального розміщення робочих органів та вдосконалення їх геометричних параметрів.

Конструктивна схема агрегату базується на застосуванні фрезерно-барабанного робочого органу з диференційованим розташуванням лопатей. У центральній частині барабана лопаті встановлені у площинах, дотичних до

траєкторії його обертання, що забезпечує ефективне захоплення компостної маси та її перекидання з формуванням упорядкованого бурта. Периферійні лопаті розміщені радіально вздовж зустрічних гвинтових ліній і встановлені під кутом 20–45°. Така орієнтація сприяє переміщенню матеріалу до центральної частини барабана, забезпечуючи рівномірність процесу перемішування без істотного зростання навантаження на привід. Зазначений діапазон кута нахилу обрано з урахуванням енергоефективності процесу. При менших значеннях кута інтенсивність перемішування знижується, тоді як його збільшення призводить до зростання опору компостної маси та додаткового навантаження на енергетичну установку. Таким чином, обрана геометрія робочих органів дозволяє забезпечити оптимальне поєднання продуктивності та економічності роботи.

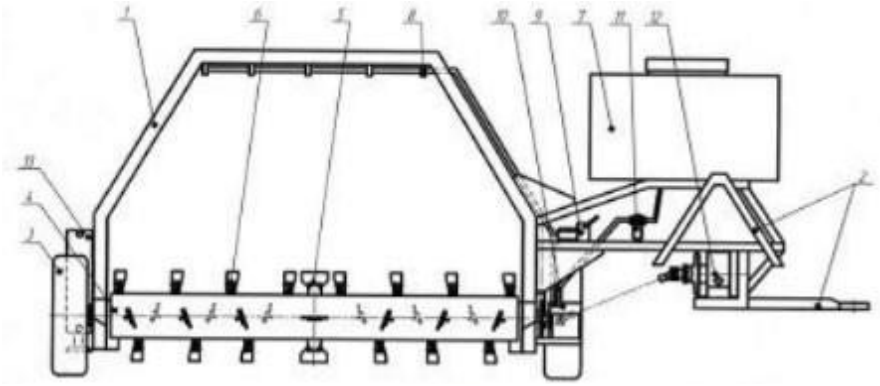

Рис. 3.3. Конструктивна схема аератора компосту:

1 – несуча рама; 2 – навісний механізм приєднання; 3 – ходові (опорні) колеса; 4 – фрезерно-барабанний робочий орган; 5,6 – лопатеві елементи; 7 – резервуар для рідких компонентів; 8 – форсунки (розпилювальні елементи); 9 – вузол дозування; 10 – насосна установка; 11 – фільтруючий елемент; 12 – редукторний привід; 13 – гідравлічний підйомний механізм; 14 – регулювальні гвинтові механізми

Важливою складовою вдосконаленого пристрою є інтегрована система зволоження та інокуляції яка включає резервуар для рідких компонентів фільтрувальний вузол та дозуючий насос синхронізований із частотою обертання головного валу. Це дозволяє автоматично регулювати подачу рідини залежно від інтенсивності роботи агрегату. Крім того, рама машини

спроектована таким чином, щоб оператор міг самостійно налаштовувати відстань від робочих органів до поверхні майданчика, адаптуючи пристрій під конкретні умови експлуатації.

Технологічний процес починається з лабораторного аналізу компостної маси, під час якого встановлюють показники вологості та вміст поживних макро- і мікроелементів. Для підготовки змішувача-аератора до виконання операцій його переводять у робоче положення. Використовуючи гідравлічний домкрат 13, оператор піднімає агрегат для корекції положення опорних коліс 3. Після цього здійснюється підключення до джерела енергії 2 через вал відбору потужності (ВВП) та карданну передачу. Наступним етапом є під'їзд аератора до бурта, де за допомогою гвинтових валів 14 встановлюється оптимальний робочий зазор між лопатями фрезерного барабана 4 та поверхнею майданчика, враховуючи особливості рельєфу. Після запуску привода ВВП на заданих обертах агрегат починає рух уздовж купи компосту. У процесі роботи периферійні лопаті 6 захоплюють матеріал і зміщують його до центру барабана, тоді як центральні лопаті 5 перекидають масу назад, формуючи оновлений бурт.

Якщо результати попередніх аналізів вказують на недостатню вологість або дефіцит поживних речовин, вводиться в дію система зволоження та інокуляції. Для цього резервуар 7 заповнюється відповідним робочим розчином. Шляхом налаштування дозатора 9 активуються розпилювачі 8, через які рідина вприскується безпосередньо у розпушений шар компосту під час його переміщення. Таке конструктивне рішення забезпечує максимально ретельне та рівномірне зволоження всієї маси субстрату.

Інтеграція в конструкцію змішувача-аератора додаткових вузлів для зволоження та інокуляції дозволяє ефективно вносити біологічно активні речовини безпосередньо у сухий субстрат. Система, що складається з бака для рідин, насоса та форсунок, працює синхронно з обертанням фрезерного барабана. Такий підхід посилює процеси розкладання органіки і суттєво прискорює дозрівання компосту. Крім того, конструкція рами передбачає

можливість зміни відстані між робочими органами та землею. Це дає змогу адаптувати процес формування буртів до будь-якого рельєфу майданчика, забезпечуючи рівномірне укладання маси незалежно від особливостей місцевості.

Загальна будова вдосконаленого аератора включає раму 1, яка приєднується до джерела енергії 2. На рамі змонтовані опорні колеса 3 та основний робочий орган — фрезерний барабан 4. Останній оснащений плоскими лопатями двох типів: центральні лопатки 5 встановлені тангенціально до осі барабана, а бічні лопатки 6 розміщені радіально вздовж зустрічних гвинтових ліній під кутом від 20 до 45 градусів. Для підтримання оптимальної вологості агрегат обладнаний контейнером 7, розпилювачами 8, дозатором 9 та насосом 10 із фільтром 11. Система розроблена таким чином, щоб подача води або активних розчинів відбувалася пропорційно до швидкості обертання барабана 4. Привод барабана здійснюється через редуктор 12. Налаштування положення опорних коліс 3 виконується за допомогою гідравлічного домкрата 13, а точне регулювання робочої висоти рами 1 забезпечується гвинтовими валами 14.

Таким чином, запропоновані конструктивні рішення забезпечують підвищення інтенсивності процесу компостування, покращення якості кінцевого продукту та зниження енерговитрат, що підвищує ефективність використання аератора в умовах аграрного виробництва.

3.4. Визначення основних геометричних параметрів обладнання

На даному етапі встановимо оптимальні геометричні характеристики фрезерного барабана, зокрема його довжину та діаметр. Згідно з технологічними вимогами, довжина робочого органу повинна бути не меншою за ширину сформованого бурта. На вибір діаметра барабана суттєво впливають розміри та форма валка, а саме його висота. Для досягнення максимальної ефективності доцільно обирати максимально допустимий діаметр. Виходячи з

умови, що площа фронтальної взаємодії робочого органу з матеріалом не повинна перевищувати площу поперечного перерізу бурта, приймаємо залежність D < H/2. Спираючись на результати попередніх досліджень [2], встановлено, що оптимальний процес компостування забезпечується при співвідношенні діаметра барабана до діаметра ріжучих крайок у межах від 0,4 до 0,6. Для подальших розрахунків приймемо середнє значення k = 0,5. Отже, внутрішній діаметр становитиме d = 0,5D.

Для обґрунтування кінематичних характеристик розробимо розрахункову схему (рис. 3.4).

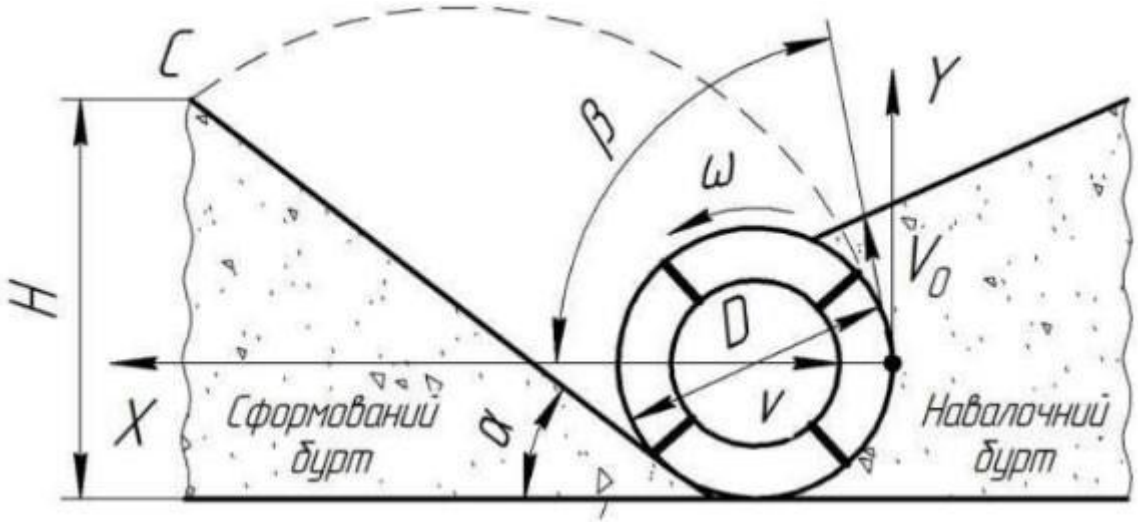

Рис. 3.4. Схематичне відображення кінематики взаємодії робочого органу аератора з оброблюваною масою

Припустимо, що частка матеріалу відокремлюється від лопаті з початковою швидкістю під кутом β до горизонту. Для мінімізації енергетичних витрат важливо, щоб траєкторія польоту частки завершувалася у точці C. Відхилення траєкторії вище цієї точки призведе до зайвих витрат енергії на метання, а нижче — до повторної взаємодії лопатей із уже сформованим краєм валка.

Рівняння руху частки компосту описується системою:

$$x = V_0 t \cdot \cos(\beta), \tag{3.1}$$

$$y = V_0 t \cdot \sin(\beta) - 1/2 g t^2 \tag{3.2}$$

У момент досягнення точки C частка проходить відстань x = H $tg(\alpha)$ +

D/2, де α=2H/b — кут природного ухилу матеріалу. При цьому висота частки відносно початку координат становить y = H – D. При розв'язанні системи рівнянь щодо V_0, отримаємо:

$$V^{02} = \sqrt{\frac{2g \cdot H \cdot tg(\alpha) + gD}{2cos^2\beta - 1}} = \sqrt{\frac{94,52}{3,176}} = 5,45\frac{\text{м}}{\text{с}} \qquad (3.3)$$

Мінімальне значення початкової швидкості переміщення частинки досягається за умови, що кут β становить 60°.

З метою забезпечення однорідних умов різання по всій робочій поверхні леза та запобігання закупорюванню ріжучих елементів, вимагається підтримання постійного кута ковзання τ. Цей кут повинен бути рівним або перевищувати кут тертя f, що відображено у співвідношенні:

$$\tau \geq f \qquad (3.4)$$

де,

$$\tau = \frac{\pi}{2} - \varepsilon_0 \ . \qquad (3.5)$$

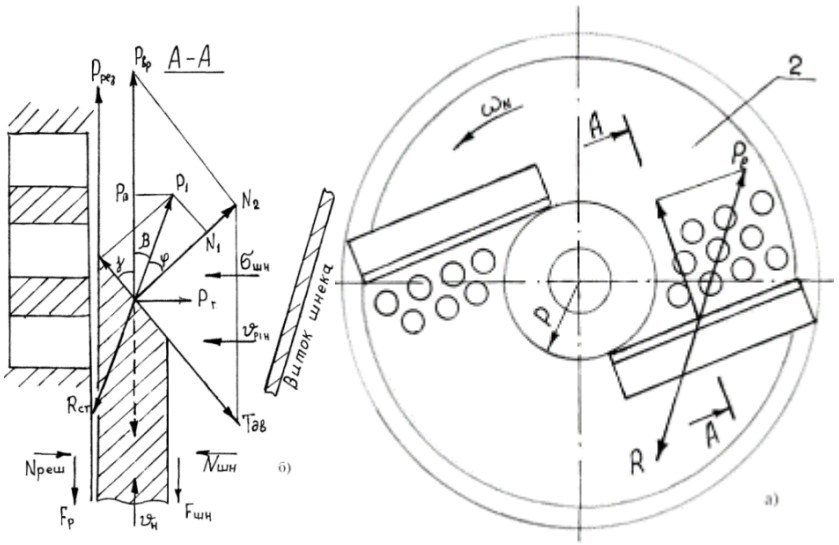

Рис. 3.5. Схематичне зображення сил, що діють на лопать:

а – у площині обертання; 1 – робочий елемент (лопать); 2 – решітка;

б – переріз А–А в площині руху потоку

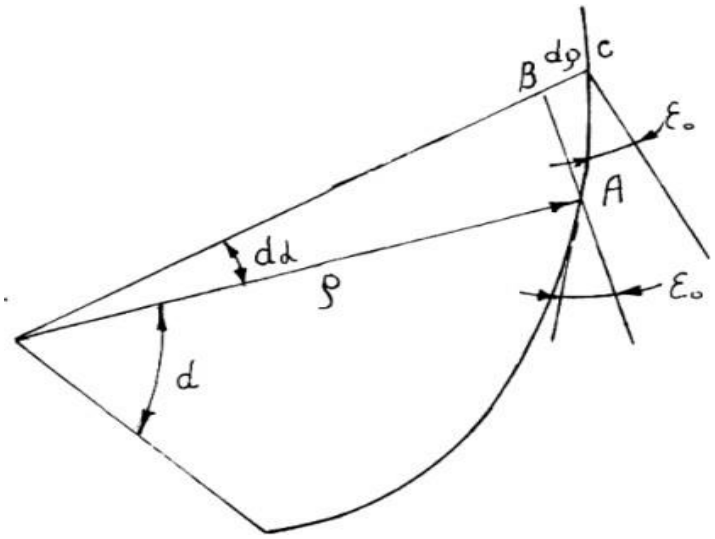

Рис. 3.6. Конструктивна схема лопаті з незмінним кутом ковзання

Таким чином, контур різальної кромки формується таким чином, що величина кута $\varepsilon 0$, утвореного між дотичною до цієї лінії в довільній точці та нормаллю до радіуса обертання цієї ж точки, залишається постійною по всій її протяжності (див. Рис. 3.5).

Вибір кута $\varepsilon 0$ здійснюється виходячи з критерію забезпечення ковзального режиму різання. Згідно з Рис. 3.5, отримуємо наступне співвідношення:

$$\frac{BC}{AB} = tg\varepsilon_0 \,(\, tg\varepsilon_0 \geq f); \tag{3.6}$$

$$AB = \rho \cdot d\alpha; DC = \rho + d\rho \tag{3.7}$$

$$tg\varepsilon_0 = \frac{\alpha \cdot \rho}{\rho \cdot d\alpha} \tag{3.8}$$

$$\alpha = \frac{d\rho}{tg\varepsilon 0} \tag{3.9}$$

У результаті отримуємо:

$$\alpha = \frac{l_n \cdot \rho}{tg\varepsilon 0} + C \tag{3.10}$$

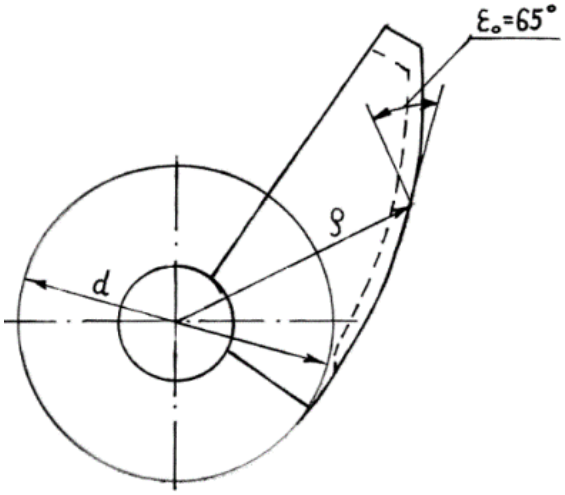

Рис. 3.7. Схематичне зображення лопаті

У випадку, коли параметр α дорівнює нулю, константа інтегрування (C) визначається наступним чином:

$$C = -l_n \cdot \rho_0 \tag{3.11}$$

Після підстановки цього значення константи (C) у співвідношення (3.10) отримуємо:

$$\alpha = l_n \cdot \rho / \mathrm{tg}\,\varepsilon_0 - l_n \cdot \rho_0$$

У підсумку:

$$\rho_i = \rho_0 \cdot exp(\alpha \cdot tg\varepsilon_0) \tag{3.12}$$

Де ρ_0 – початковий радіус фланця, до якого здійснюється фіксація ріжучих елементів.

На підставі попередньо виконаних обчислень встановлено наступні значення:

$$\rho_0 = 25 \text{ мм}; \qquad \varepsilon_0 = 65°$$

Підстановка цих величин у відповідний математичний вираз дає змогу визначити профіль леза ріжучого інструменту. При куті α = 10° (що еквівалентно 0,174 радіана), отримуємо:

$$\rho_{10} = 25 \cdot e^{0{,}174 \cdot 1{,}134} = 30{,}5 \text{ мм}.$$

За таким самим принципом здійснюється розрахунок радіуса для інших значень α, що дозволяє побудувати логарифмічну залежність. Ця крива є основою для розробки шаблону, згідно з яким надалі можливе виробництво лез

заданої конфігурації. Монтаж ріжучих елементів виконується на шпонках у верхній та нижній частинах решітки, із взаємним кутовим зміщенням на 90 градусів.

3.5. Дослідження робочих процесів та продуктивності агрегату

Для оптимізації робочих параметрів аератора та мінімізації енергетичних витрат необхідно встановити його основні кінематичні характеристики, зокрема кутову швидкість робочого органу та швидкість поступального руху агрегату.

Враховуючи, що швидкість відриву частинки субстрату має бути еквівалентною периферійній швидкості фрезерно-барабанного вузла, визначимо його кутову швидкість за формулою:

$$\omega = \frac{2V_0}{D} = \frac{2 \cdot 5{,}45}{0{,}4} = 27{,}25 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \qquad (3.13)$$

На основі отриманого значення розрахуємо частоту обертання фрезерного барабана:

$$f = \frac{60\omega}{2\pi} = \frac{60 \cdot 27{,}25}{2 \cdot 3{,}14} = 260 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \qquad (3.14)$$

Швидкість переміщення аератора вздовж бурта безпосередньо залежить від кутової швидкості робочого органу та геометричних параметрів валка:

$$\upsilon = \frac{\omega(D^2 - d^2) \cdot K_з}{H} = \frac{27{,}25(0{,}4^2 - 0{,}2^2)0{,}6}{1{,}3} = 0{,}18 \text{ м/с} \qquad (3.15)$$

Де $k_з$ – коефіцієнт заповнення робочої камери аератора компостним матеріалом. Цей коефіцієнт обумовлюється фізико-механічними властивостями компосту, кінематичними параметрами функціонування аератора та висотою компостного штабеля, і варіюється в діапазоні від 0,4 до 0,8 [8]. Для цілей даного розрахунку прийнято значення 0,6.

З метою оцінки експлуатаційної продуктивності аератора визначимо часовий інтервал, необхідний для обробки компостного штабеля довжиною a:

$$t = \frac{a}{v} = \frac{80}{0{,}088} \approx 900\ a \approx 0{,}25\ \text{год} \tag{3.16}$$

Далі обчислимо продуктивність пристрою:

$$Q = \frac{M}{T \cdot t} = \frac{3164}{113 \cdot 0{,}25} = 112\ \text{т/год} \tag{3.17}$$

У результаті проведених розрахунків визначено основні кінематичні та експлуатаційні параметри аератора. Встановлено, що кутова швидкість обертання робочого органу становить 27,25 рад/с, що відповідає частоті близько 260 об/хв і забезпечує ефективну взаємодію з компостною масою. Розрахована швидкість поступального руху агрегату дозволяє раціонально організувати процес обробки без перевантаження приводу, а час обробки бурта довжиною 80 м становить приблизно 0,25 год. При цьому продуктивність аератора досягає 112 т/год, що свідчить про високу ефективність обраних конструктивних та кінематичних параметрів і підтверджує доцільність їх використання в умовах підприємства.

3.6. Перевірочний розрахунок привода та вала аератора на міцність

Основною функцією вала аератора є прийом та передача крутного моменту від приводного двигуна. Для ефективної роботи системи був обраний електродвигун із номінальною потужністю $N_{дв}$ = 15 кВт та частотою обертання вала n = 1450 об/хв (або хв$^{-1}$). В даному випадку, завдяки прямому з'єднанню або використанню передачі з коефіцієнтом трансформації, що дорівнює одиниці, крутний момент двигуна безпосередньо передається на вал аератора. Розрахунок цього крутного моменту ($M_{пр}$) виконується за стандартною формулою, яка враховує зв'язок між потужністю, обертовою швидкістю та крутним моментом:

$$M_{пр} = 9550 \cdot (N_{ДВ} / n) \tag{3.18}$$

Підставивши вихідні дані, отримуємо значення крутного моменту:

$$M_{\text{пр}} = 9550\,\overline{\qquad}\,1450 = 98{,}8\ \text{Н}\cdot\text{м}$$

Це значення є ключовим для подальшого визначення розмірів вала. На основі розрахованого значення крутного моменту здійснюється попереднє оцінювання необхідного мінімального діаметра вала. Це є важливим етапом для подальшого детального аналізу. Формула для попереднього розрахунку діаметра припускає рівномірний розподіл напружень скручування:

$$d_p = \sqrt[3]{(\,M_{\text{пр}}/0{,}2[\tau\text{пр}])}$$

Де $\tau\text{пр}$ – позначає максимально допустиме напруження при скручуванні для обраного матеріалу вала. Згідно з інженерними довідниками [14] та враховуючи властивості матеріалу, приймаємо допустиме напруження - 40 МПа.

Підстановка значень дає:

$$d_p = \sqrt[3]{(\,98{,}8\cdot 10^3/0{,}2\cdot 10)} = 24\ \text{мм}$$

Таким чином, попередньо розрахований діаметр вала становить 24 мм. Після попереднього визначення діаметра вала формується його розрахункова схема (рис. 3.8.), на якій візуалізовані місця прикладення навантажень та опор. Ця схема дозволяє точно моделювати поведінку вала під дією зовнішніх сил.

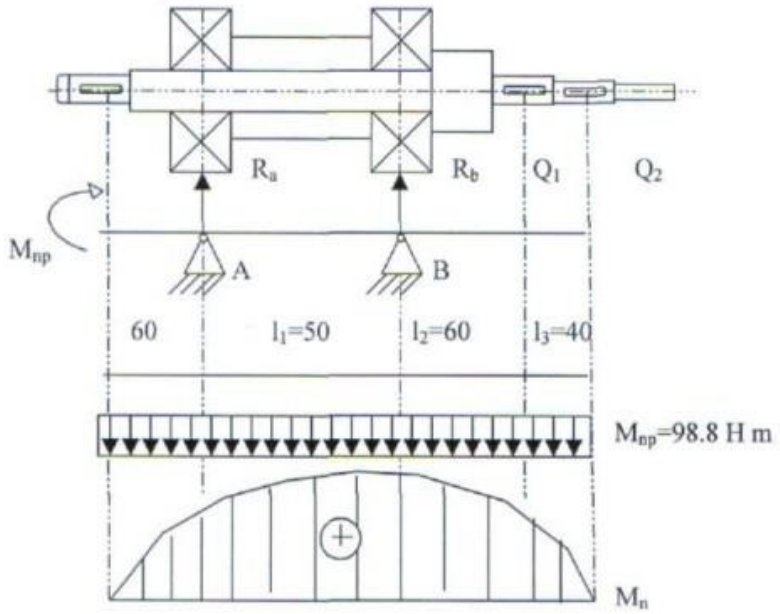

Рис. 3.8. Схематичне представлення вала аератора для аналітичних обчислень

У процесі експлуатації та технічного обслуговування (ТО) аератора на вал можуть діяти додаткові сили.

Аналіз епюри згинальних моментів, отриманої на основі розрахункових сил та реакцій, показав, що найбільший згинальний момент локалізується в точці В. Його величина становить:

$$M_n = R_b(l_2 + l_3) \tag{3.19}$$

$$M_n = 1850(0{,}06 + 0{,}04) = 185 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Відповідно рівень напруження в точці В:

$$\sigma = \frac{M_n}{w} = \frac{M_n}{0{,}1 \cdot d^3}, \tag{3.20}$$

Де d – розрахунковий діаметр вала саме в перерізі В. Для подальших обчислень було обрано діаметр d, що дорівнює 50 мм, або 0,05 метра.

Наступним етапом є здійснення комплексної перевірки на забезпечення статичної міцності конструкції. Ця оцінка буде виконана на основі порівняння розрахункових напружень з допустимими значеннями, встановленими для даного матеріалу. Згідно з джерелом [14], регламентується, що у випадку перевантаження, яке складає 200% від номінального, величина коефіцієнта перевантаження K_n досягне значення 2. Для подальших розрахунків було прийнято, що як матеріал вала використовується сталь марки 40Х, при цьому твердість за Брінеллем (НВ) становить 200 одиниць.

Для обраного матеріалу (сталь 40Х) характерні наступні механічні властивості та показники витривалості:

$$\tau_{-1} = 200 \text{ Мпа}$$

$$\sigma_B = 730 \text{ Мпа}$$

$$\tau_\tau = 280 \text{ Мпа}$$

$$\sigma_{-1} = 320 \text{ МПа}$$

$$\sigma_\tau = 500 \text{ Мпа}$$

$$\psi_\sigma = 0{,}1 \qquad \psi_\tau = 0{,}05$$

Також було визначено відношення:

$$\sigma_\tau/_\sigma = 0{,}68$$

Згідно з рекомендаціями, викладеними в джерелі [14], коефіцієнт міцності для даного типу конструкцій повинен перебувати в діапазоні від 1,3 до 1,5. Отже, необхідно здійснити перевірку міцності вала саме у найбільш навантаженому перерізі, визначивши допустимі статичні напруження:

$$[\sigma_{\text{СТ}}] = \frac{\sigma_T}{[n_T]} = \frac{500}{1{,}5} = 333 \text{ Мпа} \tag{3.21}$$

Далі визначаємо максимальне еквівалентне напруження, яке виникає в матеріалі вала, з урахуванням усіх діючих факторів:

$$\sigma_{\text{екв.мах.}} = K_n\sqrt{\sigma^2 + 3\text{r}^2} + = 2\sqrt{28{,}9^2 + 3 \cdot 7{,}7^2} = 63{,}6 \text{ МПа}$$

Порівняння отриманого значення показує:

$$\sigma_{\text{екв.мах.}} < [\sigma_{\text{СТ}}] = 333 \text{ Мпа}$$

На підставі цього порівняння можна зробити висновок, що статична міцність вала надійно забезпечена. Для детальнішої оцінки надійності були розраховані коефіцієнти запасу міцності окремо для нормальних та дотичних напружень:

$$n_\sigma = \frac{\sigma - 1}{K_\sigma \cdot \sigma} = \frac{\sigma - 1}{(\frac{K_{\sigma K}}{Kd} + K_F - 1) \cdot K_{\sigma K} \cdot \sigma} \tag{3.22}$$

$$n_\sigma = \frac{320}{(\frac{1{,}7}{0{,}79} + 1{,}1 - 1) \cdot 1 \cdot 28{,}9} = 4{,}9$$

$$n_\tau = \frac{\tau - 1}{K_\tau \cdot \tau} = \frac{\tau - 1}{(\frac{K_{\sigma K}}{Kd} + K_F - 1) \cdot K_\pi \cdot \tau} \tag{3.23}$$

$$n_\tau = \frac{220}{(\frac{1{,}45}{0{,}79} + 1{,}1 - 1) \cdot 1 \cdot 7{,}7} = 14{,}7$$

Підсумовуючи результати всіх розрахунків, остаточно підтверджується достатній рівень міцності вала в усіх його критичних перерізах. Додатково, беручи до уваги отриманий діаметр вала, призначений для посадки маточини (d = 40 мм), і спираючись на дані з джерела [15], оптимальним вибором для даної конструкції є підшипник типу 308.

3.7. Висновки за розділом

У результаті виконання розрахунково-конструкторської частини роботи було проведено комплексне обґрунтування параметрів модернізованого аератора змішувача компосту. Основні результати та досягнення розділу полягають у наступному.

На основі аналізу патентних джерел обґрунтовано напрям вдосконалення обладнання. Розроблено конструкцію аератора, де завдяки диференційованому розміщенню робочих елементів на обертовому фрезерному барабані забезпечується ефективне перемішування компостної маси, її інтенсивне насичення киснем та формування стабільних буртів. Запропоноване рішення дозволяє значно інтенсифікувати біотермічні процеси розкладання органічних речовин. Визначено оптимальні геометричні характеристики агрегату шляхом математичного моделювання взаємодії робочих органів із субстратом. Це дозволило встановити форму ножів за логарифмічною кривою та розрахунковим шляхом визначити, що для правильного формування валка мінімальна швидкість вильоту частинки матеріалу має становити 5,45 м/с.

Обґрунтовано кінематичні та силові параметри обладнання, що забезпечують стабільний технологічний процес. Встановлено, що кутова швидкість барабана на рівні 27,25 рад/с та відповідна частота обертання 260 об/хв дозволяють досягти технічної продуктивності аератора на рівні 112 т/год.

Отримані результати підтверджують надійність та довговічність конструкції в умовах реальної експлуатації.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Система нормативного забезпечення та управління охороною праці

Забезпечення високого рівня промислової безпеки та оперативне реагування на позаштатні ситуації в межах сільськогосподарського комплексу є фундаментальною умовою формування захищеного середовища для всього персоналу. Ключова стратегія організації безпечної праці на підприємстві базується на впровадженні цілісного комплексу заходів, що охоплюють технічні, організаційні та освітні аспекти діяльності.

Першочерговим етапом виступає всебічна ідентифікація та оцінка виробничих ризиків, що передбачає аналіз усіх потенційних загроз, пов'язаних із обслуговуванням тварин, експлуатацією складних технічних агрегатів та використанням хімічних сполук. На основі виявлених факторів небезпеки розробляються прикладні стратегії їх нейтралізації або максимальної мінімізації негативного впливу. Важливою складовою управління безпекою є систематична підготовка та професійне навчання штату. Обов'язкові тренінги та тематичні інструктажі для працівників ферми дозволяють засвоїти найбільш ефективні методи роботи, оволодіти навичками безпечного користування сучасним обладнанням та чіткими алгоритмами дій у разі виникнення екстремальних обставин.

Для безпосереднього захисту персоналу в процесі виконання функціональних обов'язків здійснюється постачання спеціалізованих засобів індивідуального захисту. Залежно від конкретних умов та характеру діяльності на певних ділянках ферми працівники забезпечуються рукавицями, окулярами, респіраторами, захисними шоломами та спецодягом, що відповідають чинним державним стандартам. Окрему увагу в структурі виробничого процесу приділено правилам безпечної взаємодії з біологічними об’єктами. Встановлені

процедури охоплюють регламенти годівлі та догляду, а також визначають заходи обережності при безпосередньому контакті з тваринами для запобігання травматизму чи укусам. Протипожежна безпека об’єктів гарантується наявністю сертифікованих засобів пожежогасіння та вогнегасників у кожній робочій зоні. Регулярний технічний огляд цього інвентарю поєднується з практичним тренуванням персоналу щодо його застосування в умовах реальної загрози.

Завершальним елементом системи захисту є розробка детальних планів реагування на надзвичайні події, від пожеж та технічних аварій на машинах до випадків порушення ізоляції тварин. Кожен співробітник проходить обов'язкове ознайомлення з цими документами, що забезпечує чітку координацію дій та згуртованість колективу під час виникнення будь-якої нестандартної ситуації на території підприємства..

4.2. Заходи безпеки при реалізації технології прискореного компостування

Впровадження технології прискореного компостування потребує специфічного підходу до організації безпечного робочого простору, що поєднує медичну готовність, технічний нагляд та постійне вдосконалення захисних систем. Пріоритетним напрямком є організація оперативного доступу до невідкладної медичної допомоги безпосередньо на території підприємства. Це передбачає не лише наявність укомплектованих аптечок, а й систематичне навчання персоналу основам домедичної допомоги та навичкам використання спеціалізованого інвентарю в критичних ситуаціях.

Важливим елементом управління безпекою є розробка комплексних планів реагування на надзвичайні події. На основі аналізу потенційних загроз, таких як пожежі, хімічні аварії чи затоплення, формуються детальні алгоритми дій, з якими ознайомлюється кожен працівник під час регулярних практичних занять. Технічна складова безпеки реалізується через встановлення

автоматизованих систем сповіщення, пожежних сигналізацій, вогнегасників та детекторів витоку газів. Підтримання цих засобів у робочому стані гарантується шляхом проведення періодичних перевірок та технічного обслуговування.

Окремий аспект безпеки стосується експлуатації механізованого обладнання та поводження з хімічними речовинами. Весь технічний парк аераторів та змішувачів підлягає обов'язковій сертифікації та плановому сервісу. Працівники отримують вичерпні інструкції щодо безпечного керування машинами, а контроль за дотриманням цих вимог здійснюється на постійній основі. Хімічні інокулянти та біологічно активні сполуки зберігаються у спеціально відведених місцях із чітким маркуванням. Під час роботи з ними персонал зобов’язаний використовувати відповідне захисне спорядження, неухильно дотримуючись регламентів обробки компостної маси.

Ефективність системи охорони праці підкріплюється безперервним освітнім процесом. Регулярні сесії та семінари підвищують рівень обізнаності колективу щодо виробничих ризиків та закріплюють навички дій у позаштатних умовах. Крім того, на фермі впроваджено механізм постійного моніторингу та поліпшення стану безпеки. Систематичний аудит дозволяє вчасно виявляти слабкі місця в системі захисту та оперативно інтегрувати сучасні рішення. Важливою частиною цієї роботи є активне залучення самих працівників до процесу вдосконалення безпеки, що стимулює відповідальне ставлення до збереження здоров'я на робочому місці.

4.3. Дії та заходи з безпеки при надзвичайних подіях

Створення та впровадження комплексного плану дій у надзвичайних ситуаціях є фундаментальним елементом для безперебійної діяльності підприємства. Цей документ містить чіткі інструкції на випадок пожеж, природних катастроф, таких як повені, або великих збоїв у роботі технологічного обладнання. Важливою складовою плану є детальне описання евакуаційних процедур, визначення безпечних маршрутів виходу, місць збору

працівників та підготовка надійних притулків.

Ефективність управління кризовими ситуаціями безпосередньо залежить від рівня поінформованості колективу. Кожен співробітник повинен пройти навчання, яке забезпечує впевнене володіння навичками евакуації та знання точного розташування запасних виходів, засобів пожежогасіння та медичних аптечок. Системний підхід до пожежної безпеки передбачає оснащення об'єкта необхідною кількістю пожежних гідрантів, вогнегасників та автоматичних систем оповіщення. Постійне технічне обслуговування цього обладнання поєднується з практичними тренуваннями персоналу щодо методів боротьби з вогнем на ранніх стадіях.

Для мінімізації наслідків можливих травмувань на території підприємства забезпечується вільний доступ до аптечок першої допомоги, укомплектованих необхідним медичним приладдям. Професійні тренінги з надання долікарської допомоги дозволяють працівникам діяти скоординовано до прибуття фахівців. Паралельно з цим здійснюється безперервний контроль виробничого середовища на наявність шкідливих газів або токсичних речовин, що можуть виділятися під час компостування. Суворе дотримання норм якості повітря та води є гарантією збереження здоров'я персоналу та тварин у будь-яких умовах.

4.4. Висновки за розділом

У даному розділі узагальнено ключові положення щодо забезпечення безпечних умов праці під час виконання процесів компостування органічних відходів (гнійних мас), визначено основні заходи реагування у разі виникнення пожежонебезпечних ситуацій, а також систематизовано вимоги до охорони навколишнього середовища. Запропоновані підходи спрямовані на мінімізацію виробничих ризиків, збереження здоров’я персоналу та зниження негативного впливу.

РОЗДІЛ 5
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО АЕРАТОРА

5.1. Показники витрат та методика оцінки рентабельності

Для оцінки економічної доцільності впровадження розробленого аератора проведемо розрахунок основних показників ефективності. Методика базується на визначенні прямих експлуатаційних витрат та їх порівнянні з існуючими технічними рішеннями.

Насамперед, пріоритетним кроком є ретельне обчислення фінансових витрат, пов'язаних з оплатою праці кваліфікованого персоналу, котрий безпосередньо задіяний в експлуатації та технічному обслуговуванні агрегату. Цей показник визначається за формулою:

$$З = (\tau \cdot С \cdot k) \tag{5.1}$$

Де k – коефіцієнт обов'язкових відрахувань із заробітної плати;

τ – фактичний період часу роботи або експлуатації агрегату;

$С$ – встановлена погодинна тарифна ставка для працівників.

Наступним важливим етапом є розрахунок амортизаційних нарахувань. Ці відрахування є ключовим інструментом обліку, що демонструє поступове та системне перенесення первісної вартості основного фонду (машини, обладнання) на собівартість виробленої продукції або наданих послуг протягом всього терміну його корисного використання. Їхнє значення обчислюється за наступним математичним співвідношенням:

$$A = a \cdot B_б \tag{5.2}$$

Де $B_б$ – означає балансову (облікову) вартість активу;

a – коефіцієнт амортизаційних витрат або норму зносу.

На додаток, експлуатаційні витрати, які включають регулярне технічне обслуговування та проведення поточних ремонтних робіт – процеси, що є абсолютно необхідними для підтримання безперебійної функціональності та

забезпечення тривалої працездатності агрегату – розраховуються, як правило, у вигляді певної частки або фіксованого відсотка від його загальної первісної вартості:

$$R = a \cdot B_{б} \tag{5.3}$$

Де a – норматив витрат на ремонтне обслуговування;

Енергетична складова витрат, що включає пально-мастильні матеріали, обчислюється за формулою:

$$З_{ПММ} = \tau \cdot к_{в} \cdot в_{дп} \tag{5.4}$$

Де $к_{в}$ – питома норма споживання паливно-мастильних матеріалів;

$в_{дп}$ – відображає середньозважену вартість одиниці пально-мастильних матеріалів.

Загальна сума експлуатаційних затрат формується шляхом підсумовування всіх вищевказаних статей:

$$U = З + A + R + З_{ПММ} \tag{5.5}$$

Для порівняльного аналізу розраховуються приведені затрати, які додатково враховують капітальну інтенсивність проєкту:

$$П = U + e \cdot B_{б} \tag{5.6}$$

Де e – норма дисконту або нормативний коефіцієнт ефективності капітальних інвестицій, грн.:

$$E_{p} = П_{a} - П_{н} \tag{5.7}$$

Де $П_{н}$ – відображає приведені затрати на експлуатацію модернізованого обладнання або удосконаленого агрегату;

$П_{a}$ – приведені затрати альтернативного зразка.

Річний економічний ефект від використання вдосконаленого агрегату порівняно з базовим аналогом визначається як різниця приведених затрат:

$$E_{p} = П_{б} - П_{н} \tag{5.8}$$

Де $П_{б}$ – приведені витрати базового аналога агрегату.

Загальна економічна цінність проєкту за весь життєвий цикл обладнання встановлюється за формулою:

$$E_c = \frac{E_p}{(a+e)} \tag{5.9}$$

Ключовим показником рентабельності виступає термін окупності, який вказує на швидкість повернення інвестованого капіталу:

$$P = \frac{B_б}{E_p} \tag{5.10}$$

Деталізований список первинних даних та вихідних показників, а також послідовні етапи розрахунків та їх проміжні результати представлені у супровідних додатках до даного дослідження.

5.2. Висновки за розділом

На основі проведеного техніко-економічного аналізу можна зробити висновок про високу доцільність впровадження розробленого змішувача-аератора у виробничий процес. Результати розрахунків підтверджують, що модернізація обладнання забезпечує значне зниження експлуатаційних витрат. Річний економічний ефект від застосування вдосконаленого агрегату порівняно з базовими технічними рішеннями становить 109,8 тис. грн. Такий показник досягається завдяки підвищенню продуктивності машини та оптимізації витрат пально-мастильних матеріалів.

Інвестиційна привабливість проєкту підтверджується коротким періодом повернення капіталовкладень. Термін окупності витрат на модернізацію складає 1,4 року (період, який охоплює один повний рік і п'ять додаткових місяців), що є цілком прийнятним показником для сільськогосподарського машинобудування та свідчить про високу рентабельність запропонованих інженерних рішень.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломного проєкту було проведено комплексне дослідження проблеми очищення, ефективної утилізації та вторинної переробки відходів тваринництва.

У межах технологічного забезпечення процесу було розроблено та обґрунтовано схему переробки, яка передбачає використання насосного агрегату GMVP 200/085, дугового сита для первинної фільтрації та прес-сепаратора 1Т-ВПО-20А. Такий підхід дозволяє ефективно розділяти стоки на фракції для їхнього подальшого цільового використання. Конструкторська частина проєкту присвячена вдосконаленню аератора компосту з фрезерним барабаном. Завдяки унікальному розташуванню робочих елементів досягається інтенсивне насичення субстрату киснем та формування якісних буртів. Розрахунковим шляхом встановлено ключові параметри агрегату, зокрема продуктивність на рівні 112 т/год та кутову швидкість барабана 27,25 рад/с. Проведені розрахунки вала на міцність та підбір підшипникових вузлів серії 310 підтверджують надійність запропонованої конструкції. Питання безпеки життєдіяльності розглянуто крізь призму діючої нормативно-правової бази. Сформульовано алгоритми дій у надзвичайних ситуаціях та заходи з мінімізації шкідливих викидів, що гарантує екологічну стабільність виробництва.

Економічний аналіз підтвердив суттєві переваги розробки порівняно з базовою моделлю МПК-Ф-1 та американським аналогом Aeromaster PT-130. Річний економічний ефект становить 109,8 тис. грн, а термін окупності капіталовкладень не перевищує 1,4 року.

Загальні результати роботи дозволяють зробити висновок, що запропонована модернізація аератора є ефективним рішенням для великих тваринницьких комплексів. Перехід від простої утилізації до глибокої переробки відходів на біогаз та компост є економічно привабливим та енергетично вигідним кроком. Для свинарських господарств використання отриманого біогазу для опалення приміщень дозволяє створити замкнений енергетичний цикл, що суттєво підвищує загальну рентабельність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Відродження органіки: свинячий гній. URL: https://ag-bag.ua/advice/vidrodzhennja-organiki-svinjachij-gnij (дата звернення: 15.04.2024).
2. URL:https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/pdf/ sistemi_vidalennya_obrobki_pidgo-3-200110.pdf (дата звернення: 15.04.2024).
3. Омельченко О. О., Ткач В. Д. Довідник з механізації тваринництва і птахівництва ферм та комплексів. Київ: Урожай, 1982. 270 с.
4. URL: https://patents.google.com/patent/US3369797A/en?oq=US3369797 (дата звернення: 15.04.2024).
5. URL: https://pumpcentre.com.ua/ (дата звернення: 15.04.2024).
6. Механізація виробництва продукції тваринництва / За ред. І. І. Ревенка. Київ: Урожай, 2004.
7. Бондар О. І., Барановська В. Є., Єресько О. В. Екологічна освіта для сталого розвитку у запитаннях та відповідях: науково-методичний посібник для вчителів / за ред. О. І. Бондаря, 2011. 228 с.
8. Про відходи: Закон України в Документ 187/98-ВР, чинний, поточна редакція — Редакція від 16.10.2020, підстава - 124-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр#Text (дата звернення: 25.04.2024).
9. Про охорону навколишнього середовища: Закон України. Документ 1264-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text (дата звернення: 25.04.2024).
10. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005-96 (Розділи А.1 - А.20). Документ v0089217-96, поточна редакція - Редакція від 01.05.2008. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0089217-96#Text 84 (дата звернення: 25.04.2024).
11. Кагадій С. В., Дем'яненко А. Г., Гурідова В. О. Основи механіки матеріалів і конструкцій. Дніпропетровськ: Вид-во «Свідлер А. Л.», 2011. 416 с.
12. Дирда В. І., Овчаренко Ю. М., Козуб Ю. Г., Рижков І. Є. Деталі машин. Практикум та курсове проектування: навчальний посібник. Дніпропетровськ –

Луганськ – Львів: Авантаж, 2009. 285 с.
13. Тваринництво України 2011. Статистичний збірник. За редакцією Н.С. Власенко. Державна служба статистики України, 2012. 212 с.
14. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми): відомчі норми технологічного проектування; ВНТП–АПК 02.05. Мінагрополітики України. Київ, 2005. 97 с.
15. Повод М. Порівняння різних технологій утримання свиней. Agroexpert: практичний посібник аграрія. 2010. № 10. С. 54-57.
16. Протокол енергетичної оцінки змішувача-аератора компосту / Державна наукова установа «Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого», Львівська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2011. 18 с.
17. Шевченко І. А. Результати експериментальних досліджень змішувача-аератора компостів. Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць. Запоріжжя, 2011. № 2 (8). С. 80-88.
18. Павленко С. І. Аналіз і обґрунтування технологічних процесів компостування сільськогосподарських органічних відходів тваринного походження. *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2012. №2. С. 53.
19. Лінник М. К. Технологія прискореного компостування органічних відходів. *Вісник аграрної науки*. 1999. № 10. С. 56-58.
20. Ikenganyia E. Onyeonagu, C. Mbah, C. Azuka, C. Aneke, I. Evaluation of the agronomic potentials of swine waste as a soil amendment. Afr. J. Agric. Res. 2014, 9, 3761–3765.
21. Aliiev E. B., Dudin V. Yr., Gavrilchenko A. S. Numerical simulation of mechanic-technological processes of livestock. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2020. Вип. 209. С. 77-79.