

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Модернізація системи видалення рідкого гною на свинофермі
з удосконаленням гомогенізатора**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІ-1-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Крайняк Денис Геннадійович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____

Дніпро 2026

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інжинірингу технічних систем
(назва кафедри)

доцент
(вчене звання)

Дудін В.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)
«05» травня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Крайняк Денис Геннадійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Модернізація системи видалення рідкого гною на свинофермі з удосконаленням гомогенізатора

керівник проєкту Івлєв Віталій Володимирович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«05» травня 2026 року № 912

2. Строк подання здобувачем проєкту 07.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Аналіз стану питання процесів та обладнання для видалення рідкого гною на свинофермах. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристика тваринництва. 2. Проектування технологічної лінії видалення рідкого гною. 3. Удосконалення мішалки гною. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка. Висновки та пропозиції. Бібліографічний список

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Технологічна схема лінії. 2. Гомогенізатор гною заглиблений. 3. Мішалка. 4. Гвинт. 5. Кронштейн. 6. Механізм повороту. 7. Лопать. 8. Шайба регульовальна. 9. Упор. 10. Плита. 11. Техніко-економічна оцінка.

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання: 05.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.04.2026 р.	
2	Теоретичний	до 15.04.2026 р.	
3	Експериментальний	до 30.04.2026 р.	
4	Охорона праці	до 10.05.2026 р.	
5	Економічний	до 22.05.2026 р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.06.2026 р.	

Здобувач

_____ (підпис)

Крайняк Д.Г.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту

_____ (підпис)

Івлєв В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Крайняк Д.Г. Модернізація системи видалення рідкого гною на свинофермі з удосконаленням гомогенізатора / Дипломний проєкт на здобуття ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У дипломному проєкті розглянуто питання підвищення ефективності технологічної лінії видалення рідкого гною на відгодівельній свинофермі. Наведено характеристику господарства, обґрунтовано комбіновану технологічну схему видалення гною з використанням підгратчастих каналів, приймального гноєзбірника, насосного перекачування, сепарації та подальшого зберігання фракцій.

Основну увагу приділено удосконаленню пропелерної мішалки гною. Запропоновано виконання отворів у лопатях із загостреними кромками, а також застосування вузла регулювання кута нахилу та поворотного кронштейна. Таке рішення забезпечує посилення турбулентності потоку, зменшення застійних зон і покращення гомогенізації гнойової маси. У роботі виконано технологічні, конструктивні та економічні розрахунки, розглянуто питання охорони праці під час експлуатації удосконаленої мішалки.

Ключові слова: рідкий гній, свиноферма, гноєзбірник, пропелерна мішалка, гомогенізація, лопаті з отворами, технологічна лінія, сепарація гною, охорона праці, економічна ефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 Характеристика тваринництва	10
1.1 Загальні відомості про сільськогосподарське підприємство	10
1.2 Характеристика рослинництва	12
1.3 Характеристика тваринництва	13
1.4 Перспективи розвитку ТОВ «Прогрес-Агро»	14
1.5 Висновки	15
2 Проектування технологічної лінії видалення рідкого гною	16
2.1 Вихідні дані та постановка завдання на проектування	16
2.2 Обґрунтування технології видалення гною	17
2.2.1 Існуючі технології видалення гною	17
2.2.2 Вибір остаточного варіанту	20
2.3 Розрахунок технологічних параметрів процесу	21
2.3.1 Визначення добового виходу гною	22
2.3.2 Визначення місткості проміжного гноєзбірника	23
2.3.3 Визначення продуктивності операції розділення	24
2.3.4 Визначення об'єму сховищ	25
2.4 Вибір та визначення кількості обладнання лінії	26
2.5 Робота лінії	28
2.6 Висновки	28
3 Удосконалення мішалки гною	30
3.1 Обґрунтування важливості питання	30
3.2 Стан питання і постановка завдання	31
3.4 Розрахунок параметрів мішалки	32
3.4.1 Вихідні дані для розрахунку	32
3.4.2 Визначення питомої енергоємності та кратності перемішування	33
3.4.3 Визначення частоти обертання гвинта	34
3.4.4 Розрахунок турбулізуючих отворів у лопатях	35
3.4.5 Розрахунок крутного моменту та перевірка посадочного діаметра	37

3.4.6 Розрахунок елементів на міцність	37
3.4.7 Розрахунок зварного з'єднання	39
3.5 Робота удосконаленої конструкції мішалки	40
3.6 Висновки	40
4 Охорона праці	42
4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі з гноєм	42
4.2 Інструкція з охорони праці для оператора удосконаленої мішалки	45
4.2.1 Загальні положення	46
4.2.2 Вимоги безпеки перед початком роботи	46
4.2.3 Вимоги безпеки під час роботи	47
4.2.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи	48
4.2.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	49
4.3 Висновки	49
5 Економічна оцінка розробленого удосконалення	51
5.1 Вихідні дані	51
5.2 Результати економічної оцінки	51
5.3 Висновки	54
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	55
БІБЛІОГРАФІЯ	56
ДОДАТКИ	58

ВСТУП

Ефективний розвиток сучасного тваринництва значною мірою залежить від рівня механізації основних виробничих процесів. Особливо важливим це питання є для свинарських підприємств, де утримання значного поголів'я тварин супроводжується щоденним утворенням великої кількості рідкого гною. Несвоєчасне або недостатньо якісне його видалення погіршує санітарний стан приміщень, підвищує трудомісткість обслуговування, створює ризики забруднення навколишнього середовища та ускладнює подальше використання гною як органічного добрива.

У сучасних умовах важливим напрямом удосконалення свинарських ферм є впровадження технологічних ліній, які забезпечують механізоване видалення, транспортування, перемішування, переробку та зберігання гнойової маси. За безпідстилкового утримання свиней на щілинній підлозі утворюється рідкий гній, який накопичується у підгратчастих каналах і приймальних гноєзбірниках. Для забезпечення стабільної роботи насосного та сепараційного обладнання така маса повинна мати достатню однорідність. У разі недостатнього перемішування в гноєзбірниках виникають застійні зони, осадження твердих частинок, розшарування маси, забивання трубопроводів і зниження ефективності подальшої сепарації.

Одним із перспективних шляхів підвищення ефективності технологічної лінії видалення рідкого гною є удосконалення робочих органів мішалок, які використовуються для гомогенізації гнойової маси. Пропелерні мішалки мають просту конструкцію, порівняно невелику металоємність і здатні створювати спрямований потік у резервуарі. Разом із тим у базовому виконанні вони не завжди забезпечують рівномірне перемішування всього об'єму гноєзбірника, особливо в зонах за гвинтом і у віддалених частинах резервуара. Тому актуальним є конструктивне удосконалення мішалки, спрямоване на посилення турбулентності потоку, зміну напрямку його дії та зменшення неперемішаних зон.

Метою дипломного проєкту є підвищення ефективності технологічної лінії видалення рідкого гною на відгодівельній свинофермі шляхом удосконалення конструкції пропелерної мішалки.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання: охарактеризувати виробничі умови господарства та стан галузі тваринництва; обґрунтувати технологічну схему видалення рідкого гною на свинофермі; виконати розрахунок основних параметрів технологічної лінії; проаналізувати роботу базової пропелерної мішалки та визначити її недоліки; розробити варіант конструктивного удосконалення робочого органа і вузла встановлення мішалки; провести розрахунки основних елементів удосконаленої конструкції; розглянути питання охорони праці під час експлуатації обладнання; визначити економічну ефективність запропонованого рішення.

1 Характеристика тваринництва

1.1 Загальні відомості про сільськогосподарське підприємство

Товариство з обмеженою відповідальністю «Прогрес-Агро» Васильківського району Дніпропетровської області функціонує на виробничих площах колишнього колективного господарства «Прогрес». Основні об'єкти підприємства зосереджені у селі Хуторо-Чаплине, що розташоване приблизно за 24 км від районного центру смт Васильківка та за 116 км від обласного центру м. Дніпро. Господарство було організоване у 1995 році. На початковому етапі воно обробляло близько 1365 га ріллі, однак у подальшому земельний банк поступово збільшувався переважно за рахунок оренди земельних паїв місцевого населення. Станом на аналізований період площа орних земель становить орієнтовно 4908 га. Крім ріллі, у структурі землекористування наявні луки та пасовища, що створює передумови для формування власної кормової бази.

Узагальнена структура сільськогосподарських угідь підприємства наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Структура сільськогосподарських угідь ТОВ «Прогрес-Агро»

Показники	2023 рік	2024 рік	2025 рік	2025 р. до 2023 р., %
Загальна земельна площа, га	4908	4908	5954	121,3
у т. ч. чорний пар	84	82	89	106,0
Зернові культури, всього	4042	4042	4042	100,0
у т. ч. озима пшениця	2205	2258	2310	104,8
яровий ячмінь	472	420	441	93,4
овес	242	242	210	86,8
соя	441	436	436	98,9
кукурудза на зерно	404	399	399	98,8
соняшник	719	724	724	100,7
кукурудза на силос	126	105	89	70,6
багаторічні трави	226	210	158	69,9

Наведена структура землекористування свідчить, що господарство має достатній ресурс для виконання виробничої програми та забезпечення тваринницького напрямку кормами власного виробництва. Аналіз динаміки показує, що у 2025 році підприємство активніше залучало в обробіток земельні площі, які раніше використовувалися менш інтенсивно. Значну частину посівів було орієнтовано на культури зернової та кормової групи, необхідні для стабільної роботи свиноферми і молочнотоварного комплексу.

Центральна садиба розміщена у серединній частині землекористування. У с. Хуторо-Чаплине зосереджені адміністративні приміщення, об'єкти соціально-побутового призначення, а також машинні двори першої та другої тракторних бригад. Свиновідгодівельна ферма із замкнутим виробничим циклом територіально належить до другої бригади, що спрощує її технологічне обслуговування та підвезення кормів.

Стабільність роботи підприємства забезпечується кадровим потенціалом. На початок 2025 року чисельність працівників становила близько 196 осіб. Основу трудового колективу формують мешканці навколишніх населених пунктів. Разом із цим господарство практикує залучення молодих фахівців із профільною освітою, що позитивно впливає на організацію виробничих процесів і впровадження нових технічних рішень.

За природно-кліматичними умовами територія підприємства належить до центрально-степового агрокліматичного району. Клімат помірно континентальний, з відносно жарким і посушливим літом та м'якою, переважно малосніжною зимою. Ґрунтовий покрив представлений переважно чорноземами з потужністю гумусового горизонту близько 47–53 см. Рельєф здебільшого рівнинний, місцями хвилястий, із балками та ярами; поля розмежовані полезахисними лісосмугами.

Погодні умови території формуються під впливом повітряних мас Атлантики, північних районів Європи та континентальних потоків із внутрішніх районів Азії. Весняний період зазвичай настає швидко, літо характеризується високими температурами та дефіцитом вологи, осінь тривала і тепла, а в окремі роки

супроводжується підвищеною кількістю опадів. Така сезонність потребує раціональної структури посівних площ і своєчасного виконання агротехнічних операцій.

1.2 Характеристика рослинництва

Упродовж останніх двох років підприємство отримувало порівняно високі врожаї основних сільськогосподарських культур. Цьому сприяли сприятливі погодні умови, дотримання технологічних строків виконання польових робіт, використання сівозмін та внесення добрив. Основну частку добрив становлять мінеральні, оскільки обсяг органічних добрив безпосередньо залежить від наявності та інтенсивності розвитку тваринницького напрямку.

Рослинництво господарства обслуговується машинно-тракторним парком, до складу якого входять колісні та гусеничні трактори, ґрунтообробні агрегати, сівалки, культиватори, борони, плуги, а також техніка для збирання врожаю. Для збирання зернових культур застосовуються зернозбиральні комбайни, а для спеціалізованих культур використовується відповідна збиральна техніка. Орієнтовно 42 % машин парку становлять імпортні зразки, зокрема комбайни типу John Deere і Claas, трактори Caterpillar та інші машини. Решта техніки є вітчизняного виробництва; її технічний стан можна оцінити як задовільний.

Автомобільний парк підприємства включає вантажні автомобілі, що використовуються для перевезення зерна, кормів, матеріалів і продукції тваринництва. Сільськогосподарські машини зберігаються на машинно-тракторному дворі. Найбільш цінні агрегати розміщують під навісами, що зменшує вплив атмосферних чинників. Для автомобілів передбачено гаражні приміщення, однак частина з них потребує ремонту та модернізації. За наявною виробничою інформацією підприємство поступово оновлює тракторний, комбайновий та автомобільний парк. Це сприяє зростанню енергоозброєності праці, підвищенню продуктивності виконання польових операцій і зменшенню простоїв у пікові періоди сільськогосподарського сезону.

1.3 Характеристика тваринництва

На землях ТОВ «Прогрес-Агро» функціонують два основні тваринницькі об'єкти: молочнотоварна ферма орієнтовно на 630 дійних корів та свинівідгодівельна ферма. На основі цих виробничих підрозділів підприємство планує формування племінної ферми, розрахованої на вирощування близько 6300 голів племінного молодняку і 6300 відгодівельних свиней на рік як окремого напрямку сільськогосподарського виробництва.

Годівля тварин базується переважно на кормах власного виробництва. Для цього на території ферми передбачені сховища для силосу, сіна, коренеплодів і концентрованих кормів, а також кормоцех, у якому готують кормові суміші відповідно до потреб окремих технологічних груп. Основні операції на фермі механізовані, а технологічні прийоми поступово вдосконалюються. На початок 1990-х років рівень механізації виробничих процесів становив приблизно 58 %, що відповідало середньому рівню механізації тваринництва для господарств аналогічного типу.

Таблиця 1.2 – Структура поголів'я стада репродукторної ферми

Групи тварин	Потреба у свиномісцях, 2024 рік	Потреба у свиномісцях, 2025 рік
Поросята-сисуні	840	2125
Поросята на дорощуванні	1050	3213
Племінний молодняк	977	2562
Ремонтні свинки	63	189
Свиноматки холості і поросні	252	777
Свиноматки підсисні	105	210
Кнури	11	53

Показники табл. 1.2 відображають потребу у свиномісцях для основних статевих-вікових груп тварин. Найбільше зростання передбачено для поросят на дорощуванні та племінного молодняку, що пов'язано з орієнтацією підприємства

на розширення репродукторного напрямку. Для відгодівельної ферми середньорічне поголів'я приймається на рівні близько 2100 голів, що потребує стабільної роботи систем годівлі, водопостачання, вентиляції та видалення гною.

1.4 Перспективи розвитку ТОВ «Прогрес-Агро»

Подальший розвиток підприємства пов'язаний із виробництвом високопродуктивного племінного ремонтного молодняку та його реалізацією в різних регіонах України, а також потенційно на зовнішніх ринках. Попередні маркетингові дослідження, проведені спеціалістами господарства, свідчать про стійкий попит на таку продукцію. З урахуванням цього виробнича програма передбачає валовий випуск племінного ремонтного молодняку на рівні приблизно 6300 голів на рік.

Виробництво відгодівельного поголів'я також планується на рівні близько 6300 голів на рік, що відповідає орієнтовно 756 т м'яса у живій масі. Такий обсяг не покриває повністю наявний попит на якісну та відносно доступну свинину, однак є обґрунтованим для першого етапу розвитку. У перспективі, за умови підтвердження економічної ефективності, передбачається збільшення потужності відгодівельної ферми приблизно до 12,6 тис. голів на рік.

Реалізацію відгодованих свиней планується здійснювати на переробні підприємства області, а також розглядати можливість співпраці з іноземними покупцями. Гній, що накопичується у гноєсховищах, доцільно використовувати як органічне добриво на полях господарства. Такий підхід дає змогу частково зменшити потребу в мінеральних добривах, поліпшити родючість ґрунтів і підвищити екологічність виробництва.

Соціальна складова розвитку підприємства передбачає залучення до роботи населення навколишніх сіл. У зв'язку з цим масове будівництво житла для працівників не планується. Водночас у разі запрошення спеціалістів з інших на-

селених пунктів господарство має забезпечити їх житловими умовами. Підприємство також може брати участь у розвитку соціальної інфраструктури села відповідно до виробничих можливостей і потреб громади.

1.5 Висновки

У розділі подано узагальнену характеристику ТОВ «Прогрес-Агро» як сільськогосподарського підприємства з розвиненою рослинницькою базою та перспективним тваринницьким напрямом. Встановлено, що наявні земельні ресурси, структура посівних площ, машинно-тракторний парк і кадровий потенціал створюють необхідні умови для забезпечення ферми кормами власного виробництва та підтримання стабільної роботи виробничих підрозділів.

Розглянуто стан і перспективи розвитку свинарства на підприємстві. Заплановане нарощування поголів'я племінного молодняку та відгодівельних свиней зумовлює потребу в удосконаленні технологічних ліній, насамперед процесів видалення та транспортування гною. З урахуванням виробничих умов підприємства обґрунтовано вибір теми дипломного проєкту, пов'язаної з удосконаленням комплексної механізації лінії видалення гною на відгодівельній свинофермі ТОВ «Прогрес-Агро» Васильківського району Дніпропетровської області.

У наступному розділі доцільно перейти до проєктування технологічної лінії видалення гною, вибору засобів механізації та визначення основних параметрів обладнання для умов відгодівельної свиноферми.

2 Проектування технологічної лінії видалення рідкого гною

Основним завданням цього розділу є обґрунтування та розрахунок технологічної лінії видалення рідкого гною на відгодівельній свинофермі, вибір раціональної технології, визначення параметрів основних споруд і обладнання, а також встановлення режиму роботи лінії.

Проектування виконано для ферми на 2000 голів відгодівельного поголів'я свиней. Прийнято безпідстилкову технологію утримання тварин на щілинній підлозі, за якої гній накопичується в підгратчастих каналах і надалі подається на переробку.

2.1 Вихідні дані та постановка завдання на проектування

Вихідними даними для проектування є середньорічне поголів'я тварин, спосіб їх утримання, фізико-механічні властивості гною, кратність його видалення та вимоги до подальшого зберігання і використання продуктів переробки. Для технологічного розрахунку приймаємо, що поголів'я 2000 голів розміщене у двох свинарниках по 1000 голів кожний.

За щілинної підлоги підстилка не використовується, тому утворюється рідкий гній із вологістю 92...97 %. У розрахунках приймаємо характеристики гноювої маси, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика рідкого свинячого гною

№ з/п	Показник	Значення
1	Вологість відносна, %	93
2	Щільність, кг/м ³	1016
3	В'язкість, Па·с	0,14
4	Вміст сухих речовин, частка	0,07
5	Гранична напруга зсуву, Па	0,4

Питому добову кількість рідкого гною від однієї голови, з урахуванням екскрементів, сечі та технологічної води, приймаємо $q = 8,5$ кг/(гол·добу). Осно-

вне завдання проєктування полягає у виборі такої технологічної лінії, яка забезпечує своєчасне видалення гною зі свинарників, його транспортування, сепарацію на фракції та екологічно безпечне зберігання.

2.2 Обґрунтування технології видалення гною

2.2.1 Існуючі технології видалення гною

На свинофермах застосовують кілька основних технологій видалення гною: механічну скребкову, гідрозмивну, самопливну та комбіновану із насосним перекачуванням і сепарацією. Кожна з цих технологій має певні переваги й недоліки, які слід враховувати під час проєктування.

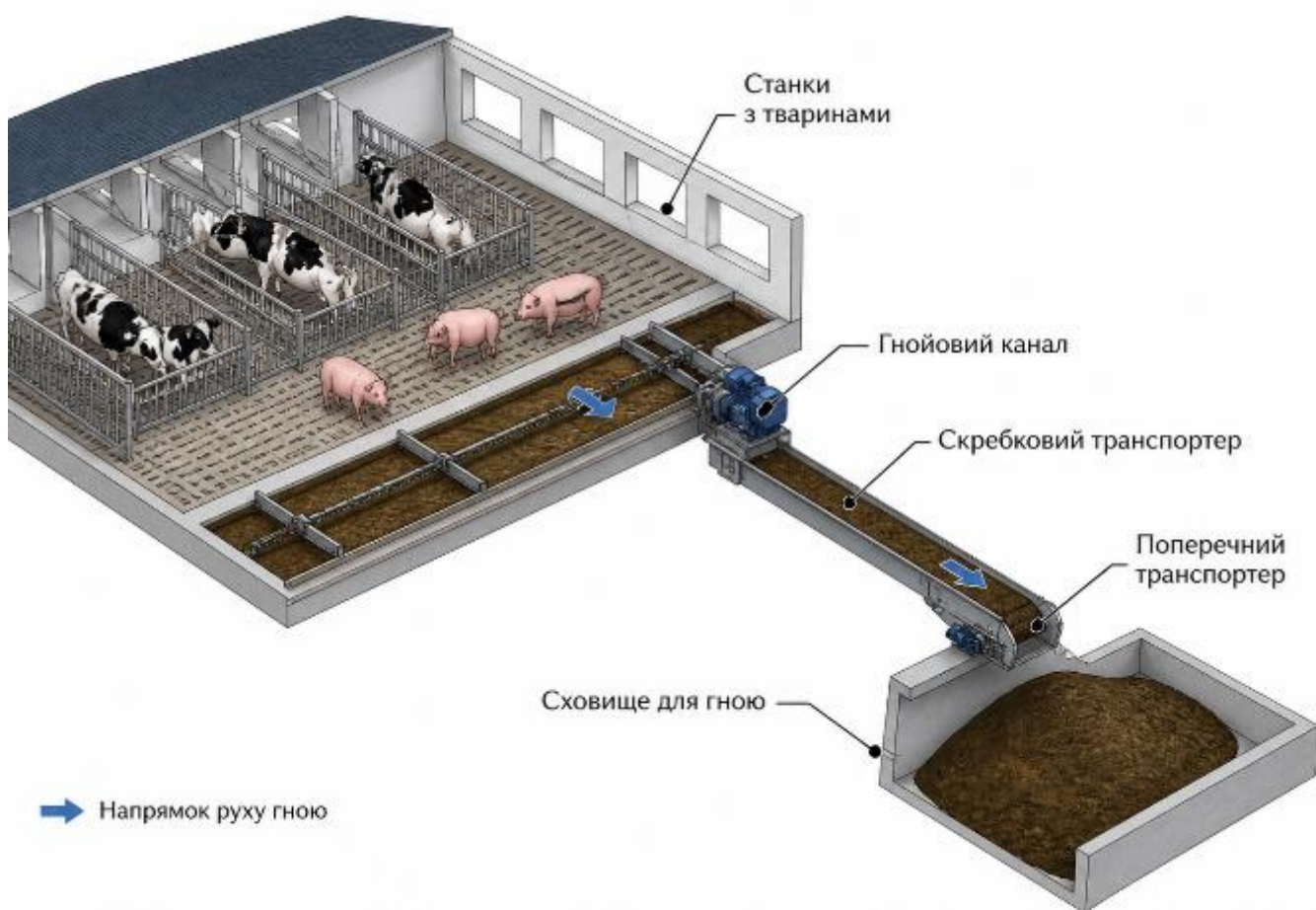


Рисунок 2.1 – Схема скребкової технології видалення гною

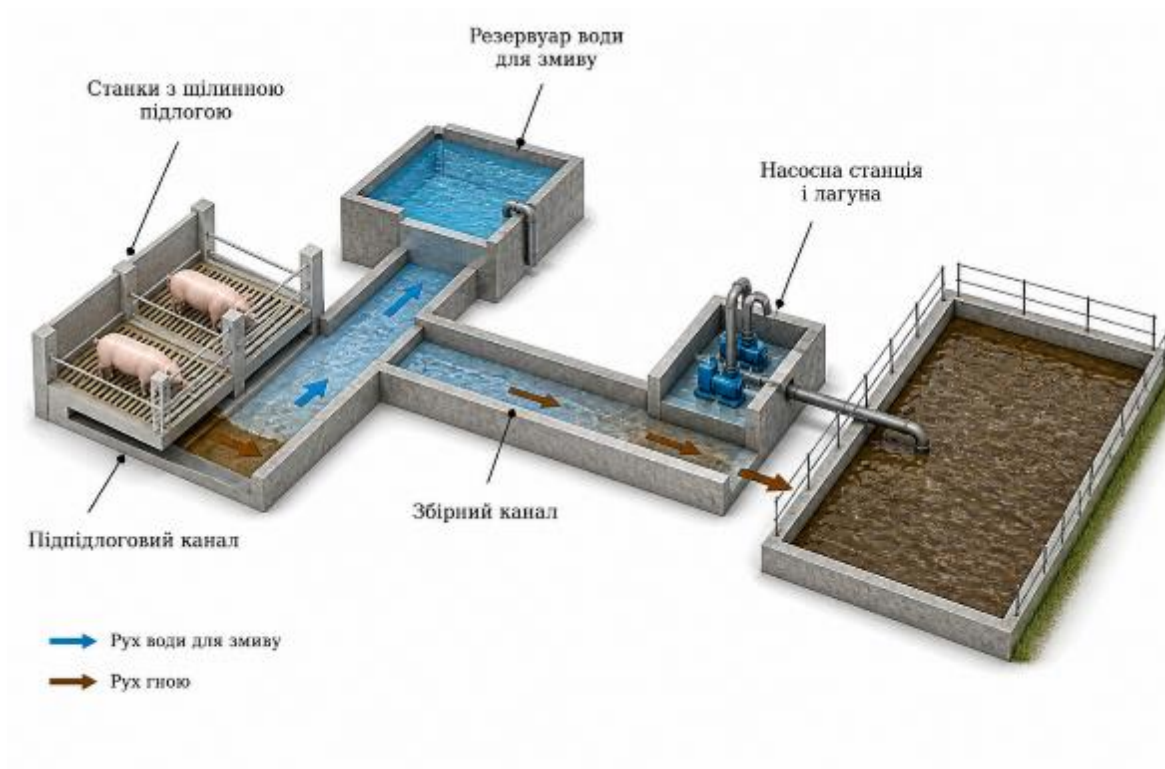


Рисунок 2.2 – Схема гідрозмивної технології видалення гною

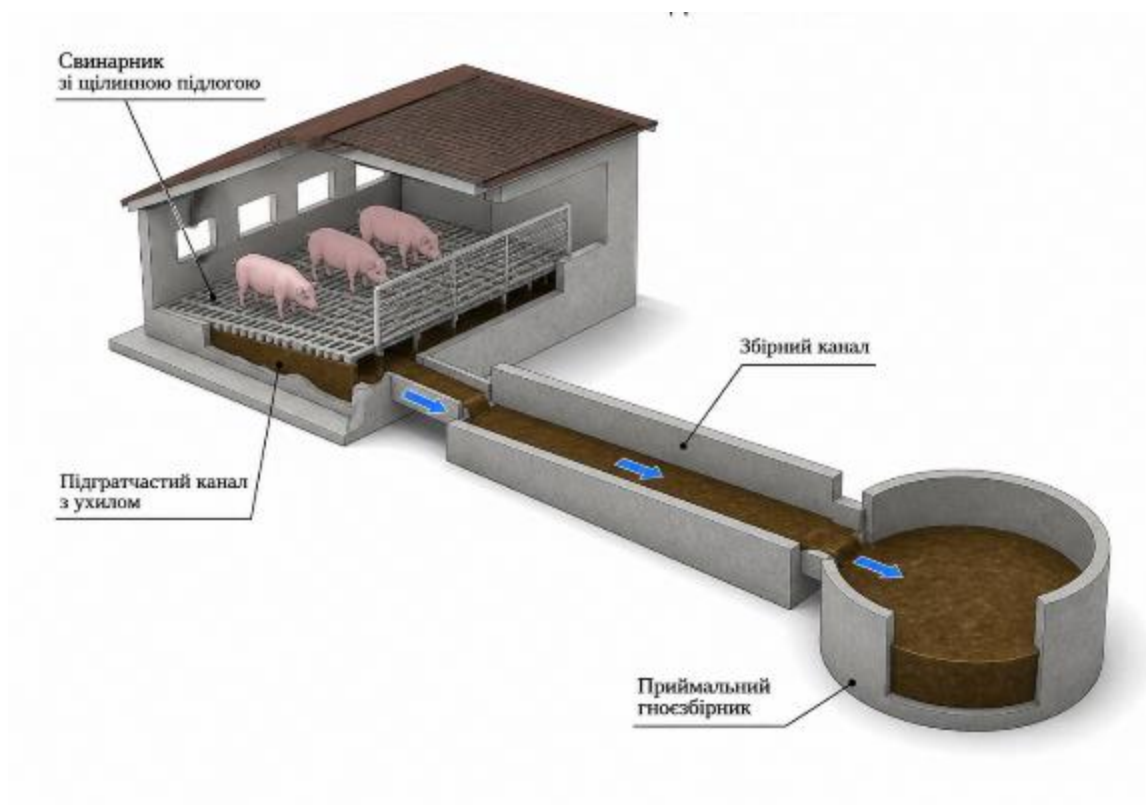


Рисунок 2.3 – Схема самопливної технології видалення гною

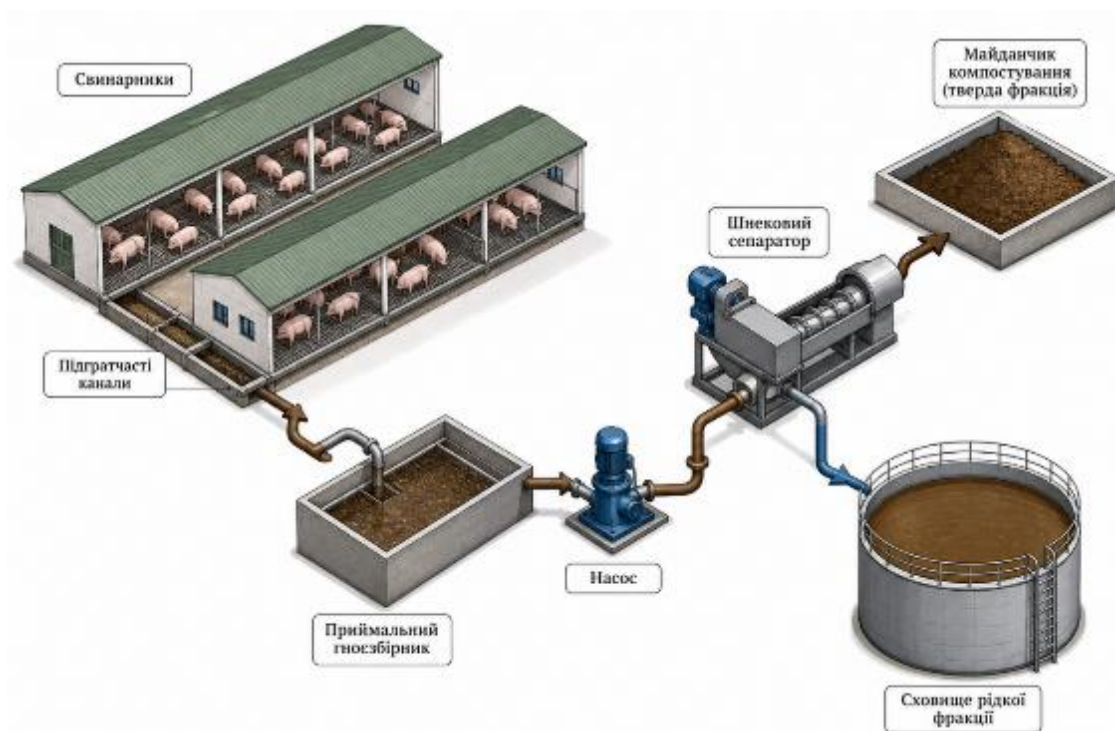


Рисунок 2.4 – Схема комбінованої технології видалення гною з сепарацією

Скребкова технологія доцільна переважно для напіврідкого та твердого гною. Вона характеризується відносною простотою, проте потребує значної кількості металомісткого обладнання та має підвищене спрацювання робочих органів.

Гідрозмивна технологія забезпечує швидке очищення каналів, але потребує великих витрат води. Унаслідок цього зростає об'єм стоків, а також витрати на перекачування, сепарацію і зберігання гнойової маси.

Самопливна технологія має порівняно низьку енергоємність і добре поєднується з утриманням свиней на щільній підлозі. Водночас для її надійної роботи необхідно правильно встановити ухили каналів і параметри приймального резервуара.

Комбінована технологія поєднує самопливне надходження гною в гноєзбірник, короткочасне накопичення, перекачування насосом і механічне розділення на фракції. Саме така схема є найбільш раціональною для прийнятих умов господарства.

Таблиця 2.2 – Порівняння технологій видалення гною

Технологія	Переваги	Недоліки	Витрати води	Придатність для ферми
Скребкова	Проста конструкція	Високе спрацювання, малоприматна для рідкого гною	Малі	Низька
Гідрозмивна	Швидке очищення каналів	Великі витрати води, зростання об'єму стоків	Великі	Середня
Самопливна	Невелика енергоємність	Потрібні достатні ухили й проміжне накопичення	Малі	Висока
Комбінована з сепарацією	Механізація, зменшення об'єму сховищ, отримання двох фракцій	Потребує насоса та сепаратора	Малі	Найвища

2.2.2 Вибір остаточного варіанту

Для умов відгодівельної свиноферми ТОВ «Прогрес-Агро» доцільно прийняти комбіновану технологію видалення гною: надходження гною через щілину підлогу до підгратчастих каналів, самопливне відведення до приймального гноєзбірника, подача насосом на шнековий сепаратор, зберігання рідкої

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для технологічного розрахунку

Показник	Позначення	Значення
Кількість голів на фермі	N	2000 гол.
Питома добова кількість гною	q	8,5 кг/(гол·добу)
Щільність гною	ρ	1016 кг/м³
Коефіцієнт нерівномірності	kн	1,10
Тривалість накопичення в гноєзбірнику	t	2 доби
Коефіцієнт запасу об'єму	kз	1,15
Тривалість роботи сепаратора	Tс	2 год/добу
Вміст сухих речовин	wср	0,07
Частка вилучення сухих речовин у тверду фракцію	ηс	0,50
Вологість твердої фракції	Wтв	0,70
Тривалість зберігання рідкої фракції	tзб	180 діб
Насипна щільність твердої фракції	ρтв	700 кг/м³
Тривалість компостування	тк	90 діб
Висота бурта	hб	1,8 м
Коефіцієнт використання площі	φ	0,75

2.3.1 Визначення добового виходу гною

Добову масу рідкого гною визначаємо за кількістю тварин і питомим добовим виходом гною від однієї голови:

$$G_{\text{доб}} = N \cdot q \quad (2.1)$$

$G_{\text{доб}}$ – добова маса рідкого гною, кг/добу;

N – кількість тварин, гол.;

q – питома добова кількість гною від однієї тварини, кг/(гол·добу).

Підставляючи значення у формулу (2.1), одержимо: $G_{\text{доб}} = 2000 \cdot 8,5 = 17000 \text{ кг/добу} = 17,0 \text{ т/добу}$.

Добовий об'єм гною визначаємо за його масою і щільністю:

$$V_{\text{доб}} = \frac{G_{\text{доб}}}{\rho} \quad (2.2)$$

$V_{\text{доб}}$ – добовий об'єм гною, $\text{м}^3/\text{добу}$;

ρ – щільність гною, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Після підстановки значень у формулу (2.2) одержимо: $V_{\text{доб}} = 17000 / 1016 = 16,73 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Розрахунковий добовий об'єм з урахуванням нерівномірності надходження гною становить:

$$V_p = V_{\text{доб}} \cdot k_n \quad (2.3)$$

V_p – розрахунковий добовий об'єм гною, $\text{м}^3/\text{добу}$;

k_n – коефіцієнт нерівномірності надходження гною.

$V_p = 16,73 \cdot 1,10 = 18,40 \text{ м}^3/\text{добу}$. Отже, з одного свинарника на 1000 голів надходить приблизно $8,36 \text{ м}^3$ рідкого гною за добу.

Таблиця 2.4 – Розрахунок добового виходу рідкого гною

Показник	Позначення	Формула	Значення	Одиниця
Добова маса гною	$G_{\text{доб}}$	$N \cdot q$	17000	кг/добу
Добовий об'єм гною	$V_{\text{доб}}$	$G_{\text{доб}}/\rho$	16,73	$\text{м}^3/\text{добу}$
Розрахунковий об'єм	V_p	$V_{\text{доб}} \cdot k_n$	18,40	$\text{м}^3/\text{добу}$

2.3.2 Визначення місткості проміжного гноєзбірника

Проміжний гноєзбірник має забезпечити приймання добового потоку гною, вирівнювання нерівномірності його надходження та створення резерву для

безперебійної роботи насосного обладнання. Корисну місткість гноєзбірника визначаємо за формулою:

$$V_{зб} = V_{доб} \cdot t \cdot k_3 \quad (2.4)$$

$V_{зб}$ – корисна місткість гноєзбірника, м³;

t – тривалість накопичення гною, діб;

k_3 – коефіцієнт запасу.

$$V_{зб} = 16,73 \cdot 2 \cdot 1,15 = 38,48 \text{ м}^3.$$

За результатами розрахунку приймаємо проміжний гноєзбірник корисною місткістю 40 м³. За глибини робочої частини 3,0 м орієнтовна площа дзеркала становить 13,3 м², що відповідає резервуару розмірами приблизно 3,0 × 4,5 м із запасом по висоті.

2.3.3 Визначення продуктивності операції розділення

Для зменшення тривалості роботи обладнання приймаємо, що сепаратор працює 2 години на добу. Необхідну продуктивність сепаратора визначаємо так:

$$Q_c = \frac{V_{доб} \cdot k_n}{T_c} \quad (2.5)$$

Q_c – потрібна продуктивність сепаратора, м³/год;

T_c – тривалість роботи сепаратора протягом доби, год.

$Q_c = 16,73 \cdot 1,20 / 2 = 10,04 \text{ м}^3/\text{год}$. Отже, для прийнятої ферми необхідно вибрати сепаратор продуктивністю не менше 10 м³/год, а з урахуванням запасу – 10...12 м³/год.

Добову масу сухих речовин у гної визначаємо за формулою:

$$G_{ср} = G_{доб} \cdot w_{ср} \quad (2.6)$$

$G_{ср}$ – маса сухих речовин у добовому виході гною, кг/добу;

$w_{ср}$ – частка сухих речовин у гної.

$$G_{ср} = 17000 \cdot 0,07 = 1190 \text{ кг/добу}.$$

Добову масу твердої фракції після сепарації визначаємо так:

$$G_{ТВ} = \frac{G_{ср} \cdot \eta_c}{1 - W_{ТВ}} \quad (2.7)$$

$G_{ТВ}$ – добова маса твердої фракції, кг/добу;

η_c – частка вилучення сухих речовин у тверду фракцію;

$W_{ТВ}$ – вологість твердої фракції.

$$G_{ТВ} = (1190 \cdot 0,50) / (1 - 0,70) = 1983 \text{ кг/добу} \approx 2,0 \text{ т/добу}.$$

Маса рідкої фракції після сепарації становить:

$$G_{рф} = G_{доб} - G_{ТВ} \quad (2.8)$$

$G_{рф}$ – маса рідкої фракції, кг/добу.

$G_{рф} = 17000 - 1983 = 15017 \text{ кг/добу}$. За щільності, близької до щільності вихідного гною, її добовий об'єм приймаємо $V_{рф} = 14,8 \text{ м}^3/\text{добу}$.

2.3.4 Визначення об'єму сховищ

Місткість сховища для рідкої фракції визначаємо з урахуванням добового об'єму рідкої фракції, тривалості зберігання та технологічного запасу:

$$V_{сх} = V_{рф} \cdot t_{зб} \cdot k_z \quad (2.9)$$

$V_{сх}$ – місткість сховища рідкої фракції, м^3 ;

$V_{рф}$ – добовий об'єм рідкої фракції, $\text{м}^3/\text{добу}$;

$t_{зб}$ – тривалість зберігання рідкої фракції, діб.

$V_{сх} = 14,8 \cdot 180 \cdot 1,10 = 2930 \text{ м}^3$. За результатами розрахунку приймаємо місткість сховища рідкої фракції 3000 м^3 , яку доцільно виконати у вигляді однієї лагуни або двох секцій по 1500 м^3 .

Добовий об'єм твердої фракції визначаємо за її масою і насипною щільністю:

$$V_{ТВ,доб} = \frac{G_{ТВ}}{\rho_{ТВ}} \quad (2.10)$$

$V_{ТВ,доб}$ – добовий об'єм твердої фракції, $\text{м}^3/\text{добу}$;

$\rho_{ТВ}$ – насипна щільність твердої фракції, кг/м^3 .

$$V_{ТВ,доб} = 1983 / 700 = 2,83 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Потрібний об'єм буртів для компостування визначаємо за формулою:

$$V_K = V_{ТВ,доб} \cdot t_K \cdot k_z \quad (2.11)$$

V_K – потрібний об'єм буртів, м^3 ;

t_k – тривалість компостування, діб.

$$V_k = 2,83 \cdot 90 \cdot 1,15 = 293 \text{ м}^3.$$

Площу майданчика компостування визначаємо за прийнятої висоти бурта та коефіцієнта використання площі:

$$F_k = \frac{V_k}{h_b \cdot \varphi} \quad (2.12)$$

F_k – площа майданчика компостування, м²;

h_b – висота бурта, м;

φ – коефіцієнт використання площі.

$F_k = 293 / (1,8 \cdot 0,75) = 217 \text{ м}^2$. Для практичної реалізації приймаємо майданчик розміром $12 \times 20 \text{ м}$, тобто площею 240 м^2 , що забезпечує технологічний запас і місце для маневрування навантажувача.

Таблиця 2.5 – Основні розрахункові параметри технологічної лінії

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Добова маса гною	$G_{\text{доб}}$	17,0	т/добу
Добовий об'єм гною	$V_{\text{доб}}$	16,73	м ³ /добу
Розрахунковий добовий об'єм	V_p	18,40	м ³ /добу
Місткість гноєзбірника	$V_{\text{зб}}$	40	м ³
Потрібна продуктивність сепаратора	Q_c	10,04	м ³ /год
Маса твердої фракції	$G_{\text{тв}}$	1,98	т/добу
Об'єм рідкої фракції	$V_{\text{рф}}$	14,8	м ³ /добу
Місткість сховища рідкої фракції	$V_{\text{сх}}$	3000	м ³
Площа майданчика компостування	F_k	240	м ²

2.4 Вибір та визначення кількості обладнання лінії

Комплект обладнання технологічної лінії повинен забезпечувати приймання, перемішування, перекачування, сепарацію та розміщення фракцій гною.

Враховуючи добовий об'єм рідкого гною і прийняту продуктивність сепаратора, до складу лінії доцільно включити приймальний гноєзбірник, занурювальний міксер, гнойовий насос із подрібнювачем, шнековий сепаратор, трубопроводи, майданчик компостування та сховище рідкої фракції.

Насосне обладнання підбираємо за продуктивністю, що повинна бути не меншою за продуктивність сепаратора. Для стабільної роботи доцільно прийняти подачу насоса 12...15 м³/год при напорі 12...15 м. Наявність подрібнювального робочого органа є бажаною, оскільки до гнойової маси можуть потрапляти залишки корму та інші механічні домішки. Для підвищення надійності роботи насосне обладнання рекомендується прийняти за схемою «один робочий + один резервний». Сепаратор достатньо встановити в одному екземплярі, оскільки його продуктивність дозволяє переробити добовий об'єм гною протягом двох годин.

Таблиця 2.6 – Вибір обладнання технологічної лінії

Найменування обладнання	Кількість	Основний параметр	Потужність, кВт
Приймальний гноєзбірник	1	40 м³	—
Занурювальний міксер	1	Для резервуара 40 м³	3...5
Гнойовий насос із подрібнювачем	2	12...15 м³/год	3...5,5
Шнековий сепаратор	1	10...12 м³/год	4...7,5
Трубопровід напірний	1 комплект	Ø 80...100 мм	—
Сховище рідкої фракції	1	3000 м³	—
Майданчик компостування	1	240 м²	—

2.5 Робота лінії

Робота технологічної лінії організовується за добовим циклом. Протягом доби рідкий гній із станків надходить через щілинну підлогу у підпідлогові канали. Після заповнення каналів або за встановленим графіком відкриваються шиберні засувки, і гнойова маса самопливом потрапляє до приймального гноєзбірника.

Перед подачею на сепаратор оператор вмикає занурювальний міксер. Перемішування триває 10...15 хв і забезпечує однорідність гнойової маси, піднімає осад із дна та запобігає надходженню на насос надто густої або розшарованої суміші. Після цього запускається насос із подрібнювачем, який подає гній на шнековий сепаратор.

На сепараторі рідкий гній розділяється на тверду і рідку фракції. Тверда фракція транспортується на майданчик компостування, де формують бурти висотою до 1,8 м. Рідка фракція по трубопроводу надходить у сховище, де накопичується до строку внесення на поля.

Технічне обслуговування лінії включає щоденний огляд насосів, міксера, арматури та сепаратора, очищення робочих органів від сторонніх включень, контроль герметичності трубопроводів і періодичне промивання напірних ліній. Для безпечної роботи люки гноєзбірників повинні бути закриті або огорожені, а роботи всередині ємностей дозволяються лише після провітрювання.

2.6 Висновки

У розділі обґрунтовано технологічну лінію видалення рідкого гною для відгодівельної свиноферми на 2000 голів. Для умов утримання свиней на щілинній підлозі прийнято комбіновану схему, яка включає підгратчасті канали, приймальний гноєзбірник, насосне перекачування, шнекову сепарацію, зберігання рідкої фракції та компостування твердої фракції.

Усі основні формули наведено в редакторі формул і пронумеровано в межах розділу. За розрахунками встановлено, що добова маса рідкого гною становить 17,0 т, добовий об'єм – 16,73 м³, а розрахунковий добовий об'єм з урахуванням нерівномірності – 18,40 м³. Потрібна місткість проміжного гноєзбірника становить 40 м³, а необхідна продуктивність сепаратора – не менше 10 м³/год.

Для зберігання рідкої фракції прийнято сховище місткістю 3000 м³, а для компостування твердої фракції – майданчик площею 240 м². Запропонована технологічна лінія забезпечує механізоване та екологічно безпечне видалення гною, зменшує потребу в ручній праці й створює умови для раціонального використання органічних добрив у господарстві.

3 Удосконалення мішалки гною

У технологічній лінії видалення рідкого гною мішалка виконує одну з ключових функцій: вона запобігає розшаруванню гнойової маси, руйнує осад у нижній частині гноєзбірника, вирівнює концентрацію сухих речовин перед перекачуванням і забезпечує стабільну роботу насоса та сепаратора. За відсутності якісного перемішування густі включення осідають на дно, а у верхній частині накопичується більш рідка фракція, що погіршує рівномірність подачі на наступні операції. У цьому розділі виконано розробку варіанта удосконалення пропелерної мішалки гною, а також проведено розрахунок основних конструктивних і технологічних параметрів з урахуванням розмірів, наведених на кресленнях. Основну увагу приділено гвинту мішалки, вузлу зміни кута нахилу, поворотному кронштейну, болтовому та зварному з'єднанням.

3.1 Обґрунтування важливості питання

Рідкий свинячий гній має підвищену вологість, але при цьому містить тверді частинки кормових залишків, фрагменти органічних домішок і завислі сухі речовини. Під час накопичення у резервуарі така маса швидко розшаровується. Важкі частинки утворюють донний осад, а легші включення можуть спливати і формувати поверхневу кірку. Це ускладнює подачу гною насосом, спричиняє забивання трубопроводів і зменшує ефективність сепарації.

Найбільш простим способом відновлення однорідності гнойової маси є механічне перемішування занурювальною пропелерною мішалкою. Однак звичайний гвинт створює переважно осьовий потік перед собою. За площиною гвинта можуть виникати слабо перемішані або майже застійні зони. Тому конструктивне удосконалення повинно бути спрямоване не лише на створення основного потоку, а й на формування додаткової турбулентності в зоні за гвинтом.

Важливим також є можливість зміни напрямку потоку. Якщо мішалка працює в одному незмінному положенні, то перемішування відбувається переважно

в обмеженому об'ємі. Кутове регулювання та поворотний кронштейн дозволяють спрямовувати струмінь у різні зони гноєзбірника, залучати до руху нижні та верхні шари, а також краще очищувати кути резервуара від осаду.

3.2 Стан питання і постановка завдання

Для перемішування рідкого гною застосовують лопатеві, пропелерні, шнекові та ежекційні мішалки. Лопатеві апарати мають просту будову, але часто створюють локальне перемішування поблизу робочого органа. Шнекові пристрої забезпечують інтенсивне переміщення маси, проте відзначаються більшою металоємністю. Ежекційні системи потребують продуктивного насоса і мають підвищені енергетичні витрати. Для умов проміжного гноєзбірника найбільш прийнятною є занурювальна пропелерна мішалка, яка має компактку будову, порівняно високу питому інтенсивність перемішування та може працювати в резервуарах значної глибини.

Метою удосконалення є підвищення рівномірності перемішування гною у гноєзбірнику без істотного збільшення складності конструкції. Для досягнення цієї мети необхідно сформувати додаткові локальні потоки за гвинтом, забезпечити зміну кута нахилу мішалки та передбачити можливість повороту потоку в різні зони резервуара.

Завдання конструктивної частини полягає у визначенні продуктивності мішалки, оцінці частоти обертання гвинта, перевірці гідродинамічного режиму, розрахунку отворів у лопатях, визначенні крутного моменту на валу, перевірці шпильки М16 та розрахунку зварного з'єднання поворотного кронштейна з кареткою.

3.3 Розробка варіанту удосконалення

У базовій конструкції пропелерної мішалки робочий орган формує основний осьовий потік рідкого гною. При цьому частина зони безпосередньо за гвинтом залишається недостатньо перемішаною через утворення зворотних течій і

місцевих розріджень. Для зменшення такого ефекту пропонується виконати в кожній лопаті поздовжній отвір. Поздовжні краї отвору зі зворотного боку лопаті доцільно заточити під кутом 45° . Під час обертання гвинта частина гнойової маси проходить крізь отвір, а загострені краї розривають потік і створюють локальну турбулентність.

Таке рішення не змінює принцип дії мішалки, але покращує гідродинамічну картину в зоні за робочим органом. Додаткові струмені, які проходять крізь отвори, руйнують застійні ділянки, підвищують інтенсивність обміну між шарами та сприяють рівномірному розподілу сухих речовин у рідкому гної.

Другим елементом удосконалення є регульоване кріплення мішалки на поворотному кронштейні. У каретці кронштейна передбачаються отвори для перестановки фіксувальних болтів. Це дозволяє змінювати кут нахилу мішалки у межах до 30° , тобто спрямовувати потік у верхні, середні або нижні шари гноєзбірника. Третім елементом є пристрій повороту, який забезпечує направлення струменя в далекі кути резервуара.

Таким чином, удосконалена конструкція включає три взаємопов'язані зміни: лопаті з турбулізуючими отворами, регульовану каретку для зміни кута нахилу та поворотний кронштейн для зміни напрямку дії струменя в плані. Сукупність цих рішень дозволяє підвищити якість гомогенізації без збільшення потужності приводу.

3.4 Розрахунок параметрів мішалки

3.4.1 Вихідні дані для розрахунку

Для розрахунків приймаємо параметри, наведені на кресленнях, а також фізико-механічні властивості рідкого гною, використані під час проєктування технологічної лінії. Вихідні дані подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку удосконаленої мішалки

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Потужність електродвигуна	Р _е	15	кВт
ККД приводу	η	0,85	-
Продуктивність при змішуванні	Q _м	34	т/год
Щільність рідкого гною	ρ	1016	кг/м ³
Динамічна в'язкість	μ	0,14	Па·с
Діаметр гвинта	D	0,407	м
Загальна довжина мішалки з приводом	L _м	0,523	м
Діаметр посадочного отвору гвинта	d	0,022	м
Кількість лопатей	z	2	шт.
Максимальна глибина резервуара	H	5,0	м
Максимальний об'єм резервуара	V _р	42	м ³
Маса вузла гомогенізатора	m	197	кг
Виліт кронштейна за кресленням	l _к	0,680	м
Граничний кут регулювання	α	30	град.

3.4.2 Визначення питомої енергоємності та кратності перемішування

Об'ємну продуктивність мішалки визначаємо за масовою продуктивністю та щільністю рідкого гною:

$$Q_v = \frac{Q_m \cdot 1000}{\rho} \quad (3.1)$$

Q_v – об'ємна продуктивність мішалки, м³/год;

Q_m – масова продуктивність при змішуванні, т/год;

ρ – щільність рідкого гною, кг/м³.

$$Q_v = 34 \cdot 1000 / 1016 = 33.46 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Середню швидкість потоку, віднесену до площі диска гвинта, визначаємо за формулою:

$$v_{cp} = \frac{Q_v}{A_r \cdot 3600}, \quad A_r = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.2)$$

v_{cp} – середня осьова швидкість потоку, м/с;

A_r – площа диска гвинта, м²;

D – діаметр гвинта, м.

$$A_{\Gamma} = 3,14 \cdot 0,407^2 / 4 = 0.130 \text{ м}^2; v_{\text{ср}} = 33.46 / (0.130 \cdot 3600) = 0.071 \text{ м/с.}$$

Питому енергоємність перемішування визначаємо як відношення потужності електродвигуна до продуктивності:

$$E_{\text{п}} = \frac{P_{\text{е}}}{Q_{\text{м}}} \quad (3.3)$$

$E_{\text{п}}$ – питома енергоємність перемішування, кВт·год/т;

$P_{\text{е}}$ – потужність електродвигуна, кВт.

$E_{\text{п}} = 15 / 34 = 0.441 \text{ кВт·год/т.}$ Отримане значення показує, що для перемішування 1 т рідкого гною витрачається близько 0.44 кВт·год електроенергії.

Час повного умовного прокачування об'єму резервуара через зону дії мішалки визначаємо так:

$$t_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{р}}}{Q_{\text{в}}} \quad (3.4)$$

$t_{\text{ц}}$ – час умовного циклу перемішування резервуара, год;

$V_{\text{р}}$ – об'єм резервуара, м³.

$t_{\text{ц}} = 42 / 33.46 = 1.26 \text{ год.}$ Отже, за одну годину роботи мішалка забезпечує інтенсивне переміщення основної частини об'єму резервуара, а повний умовний цикл становить близько 1,25 год.

3.4.3 Визначення частоти обертання гвинта

Для оцінки частоти обертання гвинта використаємо узагальнену залежність для пропелерних мішалок, у якій потужність залежить від щільності середовища, частоти обертання та діаметра гвинта:

$$P_{\text{в}} = N_{\text{р}} \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5 \quad (3.5)$$

$P_{\text{в}}$ – потужність на валу мішалки, Вт;

$N_{\text{р}}$ – критерій потужності пропелерної мішалки;

n – частота обертання гвинта, с⁻¹.

Потужність на валу з урахуванням ККД приводу становить:

$$P_{\text{в}} = P_{\text{е}} \cdot \eta \quad (3.6)$$

η – коефіцієнт корисної дії приводу.

$$P_B = 15 \cdot 0,85 = 12.75 \text{ кВт.}$$

З формули (3.5) визначаємо частоту обертання гвинта:

$$n = \sqrt[3]{\frac{P_B}{N_p \cdot \rho \cdot D^5}} \quad (3.7)$$

Для дволопатевого пропелерного робочого органа приймаємо $N_p = 0,40$.

Тоді $n = (12750 / (0,40 \cdot 1016 \cdot 0,407^5))^{(1/3)} = 14.11 \text{ с}^{-1}$, або 847 хв^{-1} .

Окружну швидкість кінця лопаті визначаємо за формулою:

$$u = \pi \cdot D \cdot n \quad (3.8)$$

u – окружна швидкість кінця лопаті, м/с.

$$u = 3,14 \cdot 0,407 \cdot 14.11 = 18.04 \text{ м/с.}$$

Для оцінки режиму руху визначаємо число Рейнольдса мішалки:

$$Re_m = \frac{\rho \cdot n \cdot D^2}{\mu} \quad (3.9)$$

Re_m – число Рейнольдса для робочого органа мішалки;

μ – динамічна в'язкість рідкого гною, Па·с.

$Re_m = 1016 \cdot 14.11 \cdot 0,407^2 / 0,14 = 16962$. Оскільки Re_m значно більше 10000, робота гвинта відбувається в турбулентному режимі, що є сприятливим для гомогенізації гною.

3.4.4 Розрахунок турбулізуючих отворів у лопатях

Удосконалення гвинта полягає у виконанні поздовжніх отворів у лопатях. За кресленням гвинт має дві лопаті, зовнішній діаметр близько 406...407 мм, характерний габарит лопаті в плані 181 мм, а посадочний отвір має діаметр 22 мм. Для технологічного розрахунку приймаємо довжину поздовжнього отвору 83 мм, ширину 22 мм і один отвір у кожній лопаті.

Сумарну площу отворів визначаємо за формулою:

$$A_o = z \cdot l_o \cdot b_o \quad (3.10)$$

A_o – сумарна площа отворів у лопатях, м²;

l_o – довжина одного отвору, м;

b_o – ширина одного отвору, м;

z – кількість лопатей.

$$A_o = 2 \cdot 0,083 \cdot 0,022 = 0.00365 \text{ м}^2.$$

Відносну площу отворів щодо площі диска гвинта визначаємо так:

$$\psi_d = \frac{A_o}{A_r} \cdot 100 \quad (3.11)$$

ψ_d – відносна площа отворів щодо площі диска гвинта, %.

$\psi_d = 0.00365 / 0.130 \cdot 100 = 2.81$ %. Така площа отворів не зменшує істотно основну нагнітальну здатність гвинта, але створює додаткові локальні струмені.

Для оцінки ослаблення лопаті порівнюємо площу отворів з орієнтовною площею двох лопатей. Площу лопатей приймаємо за наближеною залежністю:

$$A_l = z \cdot 0,75 \cdot l_l \cdot b_l \quad (3.12)$$

A_l – орієнтовна площа двох лопатей, м^2 ;

l_l – характерна довжина лопаті за кресленням, м;

b_l – характерна ширина лопаті, м.

$A_l = 2 \cdot 0,75 \cdot 0,181 \cdot 0,086 = 0.02335 \text{ м}^2$. Частка вилученої площі становить 15.6 %, тобто не перевищує допустимого рівня для малонавантаженої листової лопаті.

Орієнтовну витрату гнойової маси через отвори можна оцінити за формулою витікання через отвір:

$$Q_o = \mu_o \cdot A_o \cdot v_o \quad (3.13)$$

Q_o – об'ємна витрата через отвори, $\text{м}^3/\text{с}$;

μ_o – коефіцієнт витрати через отвір;

v_o – локальна швидкість потоку біля отвору, $\text{м}/\text{с}$.

Приймаємо $\mu_o = 0,62$, а локальну швидкість біля отвору — 20 % від окружної швидкості кінця лопаті: $v_o = 0,20 \cdot 18.04 = 3.61 \text{ м}/\text{с}$. Тоді $Q_o = 0,62 \cdot 0.00365 \cdot 3.61 = 0.00817 \text{ м}^3/\text{с}$, або $29.4 \text{ м}^3/\text{год}$. Масова витрата локальних струменів становить приблизно 29.9 т/год, що є достатнім для руйнування застійної зони за гвинтом.

3.4.5 Розрахунок крутного моменту та перевірка посадочного діаметра

Крутний момент на валу мішалки визначаємо за потужністю на валу і частотою обертання:

$$M_{кр} = \frac{P_B}{2\pi n} \quad (3.14)$$

$M_{кр}$ – крутний момент на валу мішалки, Н·м.

$$M_{кр} = 12750 / (2 \cdot 3,14 \cdot 14,11) = 143,8 \text{ Н·м.}$$

Розрахунковий момент з урахуванням динамічного коефіцієнта визначаємо за формулою:

$$M_p = k_d \cdot M_{кр} \quad (3.15)$$

M_p – розрахунковий крутний момент, Н·м;

k_d – коефіцієнт динамічного навантаження.

$$\text{За } k_d = 1,5 \text{ маємо } M_p = 1,5 \cdot 143,8 = 215,7 \text{ Н·м.}$$

Дотичні напруження в перерізі посадочного діаметра 22 мм визначаємо з умови кручення круглого вала:

$$\tau = \frac{16 \cdot M_p}{\pi \cdot d^3} \quad (3.16)$$

τ – дотичне напруження від кручення, МПа;

d – посадочний діаметр гвинта, м.

$\tau = 16 \cdot 215,7 / (3,14 \cdot 0,022^3) = 103,2 \text{ МПа.}$ Для вала або втулки з конструкційної сталі з допустимим напруженням близько 110 МПа умова міцності виконується. Разом із тим у місці посадки гвинта бажано передбачити плавні переходи, які зменшують концентрацію напружень.

3.4.6 Розрахунок елементів на міцність

На поворотний кронштейн діє вага вузла мішалки та гідродинамічна реакція від роботи гвинта. Осьову гідродинамічну силу орієнтовно визначаємо через коефіцієнт тяги гвинта:

$$F_x = C_T \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \quad (3.17)$$

F_x – осьова гідродинамічна сила, Н;

C_T – коефіцієнт тяги гвинта.

За $CT = 0,25$ отримаємо $F_x = 0,25 \cdot 1016 \cdot 14,11^2 \cdot 0,407^4 = 1388 \text{ Н}$.

Вагу вузла мішалки визначаємо за формулою:

$$G = m \cdot g \quad (3.18)$$

G – вага вузла мішалки, Н;

m – маса вузла гомогенізатора, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

$$G = 197 \cdot 9,81 = 1933 \text{ Н}.$$

Результуюче навантаження на кронштейн визначаємо як геометричну суму ваги та осьової сили:

$$R = \sqrt{G^2 + F_x^2} \quad (3.19)$$

R – результуюче навантаження на кронштейн, Н.

$R = \sqrt{(1933^2 + 1388^2)} = 2379 \text{ Н}$. З урахуванням коефіцієнта динамічності $k_d = 1,5$ розрахункове навантаження становить $R_p = 3569 \text{ Н}$.

Згинальний момент у зоні закріплення кронштейна визначаємо за вильотом, прийнятим за кресленням:

$$M_{зг} = R_p \cdot l_k \quad (3.20)$$

$M_{зг}$ – згинальний момент у кронштейні, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

l_k – виліт кронштейна, м.

$M_{зг} = 3569 \cdot 0,680 = 2,43 \text{ кН} \cdot \text{м}$. Це навантаження повинно сприйматися кронштейном, кареткою та їх зварними швами.

Мішалка кріпиться до консолі шпилькою М16. Перевірку шпильки на зріз виконуємо за формулою:

$$\tau = \frac{R_p}{A_6} \quad (3.21)$$

A_6 – розрахункова площа перерізу шпильки М16, мм^2 .

Для М16 приймаємо $A_6 = 157 \text{ мм}^2$. Тоді $\tau = 3569 / 157 = 22,7 \text{ МПа}$. Допустиме напруження зрізу для сталевій шпильки приймаємо $[\tau] = 80 \text{ МПа}$. Оскільки $22,7 < 80$, міцність шпильки М16 забезпечується.

За кресленням конструкція допускає зміну нахилу мішалки у межах 30° . Вертикальну зміну напрямку потоку на довжині вільного факела, приблизно рівній глибині резервуара, оцінюємо за формулою:

$$\Delta h_{\Pi} = S \cdot \sin \alpha \quad (3.22)$$

Δh_{Π} – вертикальне зміщення напрямку потоку, м;

S – орієнтовна довжина факела перемішування, м;

α – кут нахилу мішалки, град.

За $S = 5$ м і $\alpha = 30^\circ$ маємо $\Delta h_{\Pi} = 5 \cdot \sin 30^\circ = 2.50$ м. Отже, зміна кута нахилу дозволяє спрямовувати потік у різні шари резервуара і залучати до руху значну частину його глибини.

3.4.7 Розрахунок зварного з'єднання

Розрахунок зварного з'єднання виконуємо для з'єднання консолі з кареткою. Зусилля, яке діє на зварне з'єднання, приймаємо $F = 30$ кН. Для кутового шва приймаємо питомий розрахунковий опір $q_{\text{ш}} = 5$ кН/см. Необхідну сумарну довжину шва визначаємо за формулою:

$$L_{\text{ш}} = \frac{k_3 \cdot F}{q_{\text{ш}}} \quad (3.23)$$

$L_{\text{ш}}$ – необхідна сумарна довжина зварного шва, см;

k_3 – коефіцієнт запасу;

F – розрахункове зусилля, кН;

$q_{\text{ш}}$ – питомий розрахунковий опір зварного шва, кН/см.

$L_{\text{ш}} = 1,3 \cdot 30 / 5 = 7.8$ см, або 78 мм.

Якщо з'єднання виконується двома симетричними швами, довжина одного шва становитиме:

$$l_{\text{ш}} = \frac{L_{\text{ш}}}{2} \quad (3.24)$$

$l_{\text{ш}}$ – довжина одного шва, мм.

$l_{\text{ш}} = 78 / 2 = 39$ мм. Конструктивно приймаємо два кутові шви довжиною по 50 мм кожний. Загальна довжина 100 мм перевищує розрахункову, тому зварне з'єднання має необхідний запас міцності.

3.5 Робота удосконаленої конструкції мішалки

Перед початком роботи оператор перевіряє справність електроприводу, стан кабелю, надійність кріплення мішалки на каретці, положення поворотного кронштейна та фіксацію болтів у регульовальних отворах. Після цього мішалка опускається у гноєзбірник на робочу глибину, яка відповідає рівню рідкого гною в резервуарі.

На першому етапі мішалка встановлюється під таким кутом, щоб основний потік був спрямований у нижню частину резервуара. Це дозволяє підняти донний осад і перевести його у завислий стан. Далі кут нахилу змінюють, спрямовуючи струмінь у середні та верхні шари. Завдяки поворотному кронштейну оператор може поступово переводити потік у різні зони резервуара, у тому числі в дальні кути.

Під час обертання гвинта основна частина гнойової маси відкидається лопатями вперед, утворюючи осьовий потік. Одночасно частина маси проходить крізь поздовжні отвори в лопатях. Заточені під кутом 45° краї отворів розривають потік і формують локальні турбулентні струмені за гвинтом. У результаті зменшується кількість застійних зон, активізується перемішування за робочим органом і покращується однорідність гною перед перекачуванням.

Після завершення перемішування гній подається насосом на наступну операцію технологічної лінії. За необхідності мішалку переводять у транспортне або верхнє положення. Обслуговування полягає в очищенні гвинта від намотаних включень, огляді отворів у лопатях, перевірці зварних швів кронштейна та контролі стану шпильки М16.

3.6 Висновки

У розділі обґрунтовано необхідність удосконалення мішалки гною, яка використовується для гомогенізації рідкого гною у заглибленому резервуарі. Встановлено, що основним недоліком звичайної пропелерної мішалки є можливе

утворення слабо перемішаних зон за гвинтом, а також обмежене охоплення об'єму резервуара за незмінного положення робочого органа.

Запропоновано виконати в лопатях гвинта поздовжні отвори із заточуванням їх поздовжніх країв під кутом 45° . Таке рішення формує додаткові турбулентні потоки за гвинтом і покращує руйнування застійних зон. Додатково передбачено регулювання кута нахилу мішалки у межах 30° та поворотний кронштейн для зміни напрямку потоку в плані.

За розрахунками встановлено, що за потужності електродвигуна 15 кВт і продуктивності 34 т/год об'ємна продуктивність становить $33,46 \text{ м}^3/\text{год}$, питома енергоємність — $0,441 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{т}$, орієнтовна частота обертання гвинта — 847 хв^{-1} , а число Рейнольдса — близько 17000, що відповідає турбулентному режиму перемішування.

Сумарна площа двох турбулізуючих отворів становить $0,00365 \text{ м}^2$, а орієнтовна витрата локальних струменів через них — близько $29,4 \text{ м}^3/\text{год}$. Перевірка посадочного діаметра 22 мм, шпильки М16 та зварного з'єднання показала, що прийняті конструктивні рішення забезпечують необхідну міцність. Для зварного з'єднання прийнято два кутові шви довжиною по 50 мм, що перевищує розрахункову потребу.

Отже, удосконалена мішалка забезпечує інтенсивніше перемішування рідкого гною, зменшує імовірність утворення осаду та застійних зон, підвищує стабільність роботи насосного обладнання і покращує підготовку гною до подальшої сепарації.

4 Охорона праці

Охорона праці під час експлуатації технологічної лінії видалення рідкого гною має особливе значення, оскільки робота пов'язана з біологічно активним середовищем, наявністю шкідливих газів, підвищеною вологістю, слизькими поверхнями, електроприводами, рухомими робочими органами та небезпекою падіння у відкриті або частково відкриті ємності. Для розробленої мішалки гною основними джерелами небезпеки є обертовий гвинт, електродвигун і пускова апаратура, підйомно-поворотний кронштейн, канат механізму зміни положення мішалки, зона приймального гноєзбірника та можливе виділення аміаку, сірководню і метану.

Метою цього розділу є встановлення вимог безпеки під час роботи з гноєм і розроблення інструкції з охорони праці для оператора удосконаленої мішалки. Запропоновані заходи враховують особливості конструкції мішалки, яка має лопаті з отворами для створення додаткового турбулентного потоку, можливість зміни кута нахилу та поворотний кронштейн для спрямування потоку у різні зони гноєзбірника.

4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі з гноєм

Роботи, пов'язані з видаленням, перемішуванням, перекачуванням і зберіганням рідкого гною, повинні виконуватися відповідно до вимог чинного законодавства України з охорони праці, правил безпечної експлуатації машин і обладнання у сільськогосподарському виробництві, вимог електробезпеки, пожежної безпеки, виробничої санітарії та інструкцій підприємства. До виконання робіт допускають працівників, які пройшли медичний огляд, вступний і первинний інструктаж, навчання безпечним методам праці та перевірку знань з охорони праці.

Гній є середовищем, у якому відбуваються мікробіологічні процеси розкладання органічної речовини. У процесі зберігання і перемішування можуть виділятися аміак, сірководень, вуглекислий газ і метан. Найбільшу небезпеку становить сірководень, оскільки за високої концентрації він може викликати гостре отруєння, а метан

утворює вибухонебезпечні суміші з повітрям. Тому перед відкриванням люків, запуском мішалки та виконанням робіт біля гноєзбірника необхідно забезпечити провітрювання зони робіт і за можливості провести контроль повітряного середовища газоаналізатором.

Забороняється спускатися у гноєзбірники, канали, колодязі або інші заглиблені ємності без письмового дозволу відповідальної особи, попереднього провітрювання, контролю газового середовища, страхувального спорядження і нагляду не менше ніж двох працівників зовні. Роботи в замкнених або погано вентильованих просторах належать до робіт підвищеної небезпеки, тому їх виконують тільки за спеціально встановленим порядком.

У зоні розміщення мішалки, насоса, сепаратора та трубопроводів підлога повинна мати неслизьке покриття, справний водовідвід і достатнє освітлення. Проходи до обладнання не допускається захарашувати інструментом, тарою, залишками кормів або сторонніми предметами. Відкриті люки, прямки, приймальні резервуари та канали повинні бути закриті міцними кришками або огорожені поручнями висотою не менше 1,1 м із бортовим елементом у нижній частині.

Електрообладнання мішалки повинно відповідати умовам експлуатації у вологому й агресивному середовищі. Корпус електродвигуна, пускова апаратура і металеві частини конструкції мають бути надійно заземлені. Пускова апаратура повинна мати захист від короткого замикання, перевантаження та випадкового повторного пуску після зникнення напруги. Кабелі слід прокладати так, щоб вони не торкалися гострих крайок, не потрапляли під колеса транспорту й не занурювалися у гнойову масу.

Робочі органи мішалки, муфти, вали, кронштейни та інші рухомі або потенційно небезпечні елементи повинні мати захисні кожухи або огороження. Забороняється торкатися обертового гвинта, виконувати очищення лопатей, регулювати кут нахилу або повертати кронштейн під час роботи електродвигуна. Усі регулювання проводять тільки після повної зупинки мішалки, вимкнення живлення і вивішування попереджувальної таблички про заборону вмикання.

Працівники, які обслуговують лінію видалення гною, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту: спецодягом із вологостійкої тканини, гумовими чоботами з неслизькою підошвою, захисними рукавицями, окулярами або щитком для захисту очей від бризок, а за наявності неприємного запаху чи ризику підвищеної концентрації газів – фільтрувальним або ізолювальним засобом захисту органів дихання відповідного типу. Після закінчення роботи працівник повинен вимити руки з милом, очистити спецодяг і не допускати перенесення забруднень у побутові приміщення.

Особливу увагу необхідно приділяти біологічній безпеці. Контакт гною зі шкірою, слизовими оболонками та відкритими ранами може спричинити інфікування. У разі потрапляння гнойової маси на шкіру її необхідно негайно змити водою з мийним засобом, а при потраплянні в очі – промити великою кількістю чистої води і звернутися до медичного працівника. На робочому місці повинна бути аптечка першої допомоги, укомплектована відповідно до характеру можливих травм.

Під час перемішування гною оператор повинен перебувати поза зоною можливого викиду бризок, не нахилятися над відкритим гноєзбірником і не перебувати на конструкціях, не призначених для проходу. Запуск мішалки дозволяється лише після перевірки надійності кріплення агрегату, справності кронштейна, фіксації кута нахилу, цілісності каната механізму підйому-опускання та відсутності людей біля робочого органа.

Пожежна безпека при роботі з гноєм пов'язана насамперед із можливим виділенням метану. У місцях накопичення гною забороняється користуватися відкритим вогнем, виконувати зварювальні роботи без наряду-допуску, палити, застосовувати іскроутворювальний інструмент або вмикати несправне електрообладнання. Перед ремонтними роботами ємності й канали необхідно провітрити, а обладнання відключити від електромережі.

Для систематизації небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час експлуатації удосконаленої мішалки складено таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні небезпечні та шкідливі фактори при роботі з гноєм

Фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Заходи захисту
Шкідливі гази	Гноєзбірник, канали, зона перемішування	Отруєння, задуха, вибухонебезпечна атмосфера	Провітрювання, газоконтроль, заборона відкритого вогню
Обертові частини	Гвинт мішалки, вал, муфти	Захоплення одягу, травмування кінцівок	Огородження, блокування, зупинка перед регулюванням
Електричний струм	Електродвигун, кабелі, пускова апаратура	Ураження струмом, пожежа	Заземлення, захист від перевантаження, справна ізоляція
Слизькі поверхні	Бризки гною, вода, вологі проходи	Падіння, забої, переломи	Неслизьке покриття, прибирання проходів, спецвзуття
Біологічне забруднення	Гній, бризки, забруднений інструмент	Інфікування, подразнення шкіри та очей	ЗІЗ, санітарна обробка, аптечка, миття рук
Падіння в ємність	Відкриті люки, канали, резервуари	Тяжкі травми, утоплення, отруєння газами	Кришки, огороження, заборона роботи наодинці

4.2 Інструкція з охорони праці для оператора удосконаленої мішалки

Ця інструкція встановлює вимоги безпеки для оператора, який обслуговує удосконалену пропелерну мішалку гною, встановлену на поворотному кронштейні з можливістю зміни кута нахилу робочого органа. Інструкція поширюється на роботи із

запуску, контролю роботи, зупинки, очищення та технічного обслуговування мішалки в складі технологічної лінії видалення рідкого гною.

4.2.1 Загальні положення

До самостійної роботи оператором мішалки допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання та інструктажі з охорони праці, ознайомлені з будовою мішалки, правилами електробезпеки, вимогами виробничої санітарії та порядком надання домедичної допомоги. Оператор повинен знати місце розташування пускової апаратури, аварійного вимикача, засобів пожежогасіння, аптечки та засобів зв'язку.

Під час роботи оператор зобов'язаний використовувати виданий спецодяг і засоби індивідуального захисту, виконувати тільки доручену роботу, не передавати керування мішалкою стороннім особам і не залишати працююче обладнання без нагляду. Забороняється працювати у стані втоми, алкогольного чи наркотичного сп'яніння, а також при поганому самопочутті.

Оператор повинен пам'ятати, що удосконалена мішалка створює інтенсивний потік рідкого гною. Отвори в лопатях і загострені кромки підвищують турбулентність потоку, але водночас утворюють додаткову небезпеку порізів під час очищення або ремонту. Тому торкатися лопатей дозволяється лише після повної зупинки робочого органа, відключення живлення і фіксації мішалки у безпечному положенні.

4.2.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи оператор повинен одягнути спецодяг, застібнути його так, щоб вільні кінці не могли бути захоплені обертовими частинами, взути гумові чоботи з неслизькою підошвою, підготувати захисні рукавиці, окуляри або щиток. Якщо передбачається відкривання люків або робота біля гноєзбірника, необхідно переконатися у достатньому провітрюванні зони та відсутності різкого запаху сірководню.

Перед пуском потрібно оглянути робоче місце, переконатися у справності огорожень, кришок люків, поручнів і проходів. Необхідно перевірити, чи немає біля мішалки сторонніх предметів, інструменту, обривків дроту, мотузок, ганчір'я або залишків тари, які можуть потрапити до робочого органа. Проходи повинні бути чистими, а освітлення – достатнім для контролю положення мішалки та стану гнойової маси.

Оператор зобов'язаний перевірити надійність кріплення мішалки до кронштейна, цілісність болтових з'єднань, справність каната механізму підйому-опускання, фіксацію поворотного кронштейна та відсутність видимих тріщин у зварних швах. Особливу увагу слід приділити вузлу зміни кута нахилу, оскільки при недостатній фіксації можливе самовільне зміщення мішалки під дією реактивного зусилля потоку.

Перед увімкненням електродвигуна необхідно переконатися у справності кабелю, пускової апаратури, заземлення та захисних пристроїв. Не допускається запуск мішалки при пошкодженій ізоляції проводу, відкритій клемній коробці, несправній кнопці «Стоп», відсутності огороження або при перебуванні людей у зоні дії робочого органа.

4.2.3 Вимоги безпеки під час роботи

Пуск мішалки слід виконувати плавно, після попередження всіх працівників, які можуть перебувати поблизу гноєзбірника. Після запуску оператор повинен проконтролювати напрямок обертання гвинта, відсутність стороннього шуму, надмірної вібрації, биття вала, перегріву електродвигуна та ривків у кронштейні. Якщо мішалка працює нестабільно, її необхідно негайно зупинити та встановити причину несправності.

Під час перемішування оператор повинен перебувати на безпечній відстані від відкритого резервуара і не нахилятися над гнойовою масою. Не допускається направляти потік у бік працівників, електрошарф, відкритих проходів або місць, де можливе

розбризування на обладнання. Зміна напрямку потоку поворотним кронштейном допускається лише за умов, передбачених конструкцією. Якщо для зміни положення потрібно переставити фіксувальні болти, мішалку необхідно повністю зупинити.

Регулювання кута нахилу мішалки, переставляння болтів у каретці, підтягування кріплень, очищення лопатей, видалення намотаних предметів і будь-які ремонтні операції виконують тільки після вимкнення електродвигуна, відключення живлення, зупинки обертання гвинта та вивішування попереджувальної таблички «Не вмикати – працюють люди». Забороняється гальмувати обертання гвинта руками, інструментом або сторонніми предметами.

Не допускається робота мішалки при підвищеній вібрації, появі стукоту, перегріві електродвигуна, іскрінні, запаху горілої ізоляції, пошкодженні каната, ослабленні кріплення кронштейна, деформації лопатей або появі тріщин на зварних з'єднаннях. У таких випадках обладнання потрібно зупинити, відключити від електромережі та повідомити відповідальну особу.

Під час роботи мішалки забороняється відкривати електрошафи, торкатися струмопровідних частин, промивати електродвигун струменем води, залишати обладнання під напругою без нагляду, стояти на кришках люків, переходити через відкриті канали, працювати без засобів індивідуального захисту та допускати до робочої зони сторонніх осіб.

4.2.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після завершення перемішування оператор повинен вимкнути мішалку кнопкою «Стоп», дочекатися повної зупинки робочого органа, відключити живлення на пусковому пристрої та зафіксувати мішалку у транспортному або безпечному положенні. Після зупинки потрібно оглянути кронштейн, канат, болтові з'єднання, стан лопатей і переконатися у відсутності залишкової небезпеки для інших працівників.

Робоче місце необхідно очистити від забруднень, промити проходи та інструмент, закрити люки й огороження, прибрати сторонні предмети. Спецодяг і рукавиці

після роботи слід очистити та залишити у визначеному місці. Оператор повинен вимити руки та обличчя теплою водою з милом, а при потраплянні гною на шкіру або в очі – негайно виконати санітарну обробку.

Про всі виявлені несправності, пошкодження огорожень, електрообладнання, кронштейна, каната, зварних або болтових з'єднань оператор зобов'язаний повідомити керівника робіт. Повторний запуск мішалки після виявлення несправності дозволяється лише після її усунення та перевірки справності обладнання.

4.2.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі появи різкого запаху сірководню, запаморочення, нудоти, слабкості або подразнення слизових оболонок оператор повинен негайно припинити роботу, вимкнути обладнання, відійти на свіже повітря і повідомити відповідальну особу. Забороняється самостійно спускатися в ємність або намагатися рятувати потерпілого без страхувального спорядження та контролю газового середовища.

У разі ураження працівника електричним струмом необхідно негайно вимкнути живлення, звільнити потерпілого від дії струму без прямого контакту з ним, викликати медичну допомогу та надати домедичну допомогу відповідно до наявних навичок. Якщо виникла пожежа або загоряння електрообладнання, його слід знеструмити і гасити вогнегасником, придатним для електроустановок.

При пошкодженні кронштейна, обриві каната, падінні мішалки, руйнуванні лопаті, різкому підвищенні вібрації або викиді гнойової маси необхідно негайно зупинити агрегат, відгородити небезпечну зону і не відновлювати роботу до огляду обладнання відповідальною особою. Усі аварійні випадки фіксують у встановленому на підприємстві порядку.

4.3 Висновки

У розділі розглянуто основні вимоги охорони праці під час роботи з рідким гноєм і експлуатації удосконаленої мішалки. Встановлено, що найбільш небезпеч-

ними факторами є виділення шкідливих і вибухонебезпечних газів, контакт із біологічно забрудненим середовищем, можливість ураження електричним струмом, травмування обертовим гвинтом, падіння у гноєзбірник і небезпека розбризкування гнойової маси.

Для зниження ризику травмування передбачено комплекс організаційних і технічних заходів: допуск до роботи тільки навченого персоналу, застосування засобів індивідуального захисту, провітрювання та газоконтроль зони гноєзбірника, огороження відкритих ємностей, заземлення електрообладнання, використання справних пускових пристроїв, заборона регулювання мішалки під час роботи та обов'язкова зупинка обладнання перед очищенням або ремонтом.

Розроблена інструкція з охорони праці для оператора удосконаленої мішалки визначає порядок безпечної підготовки до роботи, запуску, контролю роботи, зупинки та дій в аварійних ситуаціях. Дотримання наведених вимог забезпечує безпечну експлуатацію мішалки, зменшує ймовірність нещасних випадків і підвищує надійність роботи технологічної лінії видалення рідкого гною.

5 Економічна оцінка розробленого удосконалення

Економічну оцінку виконано для порівняння базової пропелерної мішалки гною та удосконаленого варіанта, у якому лопаті мають отвори із загостреними поздовжніми кромками, а кріплення забезпечує зміну кута нахилу і напрямку дії потоку. Таке рішення не потребує заміни електроприводу, але підвищує інтенсивність перемішування, зменшує застійні зони за гвинтом і скорочує тривалість одного циклу гомогенізації.

Порівняння виконано за річними операційними витратами. До них віднесено витрати на електроенергію, оплату праці оператора, ремонт і технічне обслуговування, а також експлуатаційні матеріали. Додатково враховано інвестиції на реалізацію удосконалення та визначено простий термін окупності.

5.1 Вихідні дані

Вихідні дані прийнято за параметрами розробленої мішалки та умовами її роботи у приймальному гноєзбірнику. За кресленнями базова мішалка має електропривід потужністю 15 кВт і продуктивність під час перемішування 34 т/год. Максимальний об'єм резервуара становить 42 м³, густина рідкого гною приймається 1016 кг/м³. Для удосконаленого варіанта потужність електродвигуна залишено 15 кВт, а розрахункову продуктивність перемішування прийнято 42 т/год за рахунок турбулізації потоку та регулювання положення робочого органа.

Додаткові інвестиції включають виготовлення отворів у лопатях і заточування їх кромки, доопрацювання вузла регулювання кута нахилу, посилення поворотного кронштейна, комплект кріпильних елементів, монтажні та пусконаладжувальні роботи. Для розрахунку прийнято сумарні капіталовкладення 36000 грн.

5.2 Результати економічної оцінки

Масу гною, що перемішується в резервуарі за один повний цикл, визначаємо за формулою:

$$G_p = \frac{V_p \cdot \rho}{1000} \quad (5.1)$$

де G_p – маса гною у резервуарі, т; V_p – об’єм гноєзбірника, м³; ρ – густина рідкого гною, кг/м³. Тоді $G_p = 42 \cdot 1016 / 1000 = 42,67$ т.

Тривалість одного циклу роботи мішалки визначаємо за масою гною і продуктивністю перемішування:

$$t_{\text{ц}} = \frac{G_p}{Q} \quad (5.2)$$

де $t_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, год; Q – продуктивність мішалки, т/год. Для базового варіанта $t_{\text{ц.б}} = 42,67 / 34 = 1,26$ год, для удосконаленого $t_{\text{ц.у}} = 42,67 / 42 = 1,02$ год. Скорочення одного циклу становить 0,24 год, або 19,0 %.

Витрати електроенергії за рік визначаємо за виразом:

$$C_e = P \cdot t_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}} \cdot c_e \quad (5.3)$$

де C_e – річні витрати на електроенергію, грн/рік; P – потужність електроприводу, кВт; $n_{\text{ц}}$ – кількість циклів на рік; c_e – тариф на електроенергію, грн/кВт·год. Для базової мішалки $C_{e.б} = 39534$ грн/рік, для удосконаленої $C_{e.у} = 32004$ грн/рік.

Річні витрати на оплату праці оператора визначаємо за тривалістю циклу та годинною ставкою:

$$C_{\text{п}} = t_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}} \cdot c_{\text{п}} \quad (5.4)$$

де $C_{\text{п}}$ – витрати на оплату праці, грн/рік; $c_{\text{п}}$ – годинна ставка оператора, грн/год. Для базового варіанта $C_{\text{п.б}} = 35769$ грн/рік, для удосконаленого $C_{\text{п.у}} = 28956$ грн/рік.

Сумарні операційні витрати, річний економічний ефект і термін окупності визначаємо так:

$$C_{\text{оп}} = C_e + C_{\text{п}} + R + M \quad (5.5)$$

$$E_p = C_{\text{оп.б}} - C_{\text{оп.у}}; T_{\text{ок}} = \frac{K_d}{E_p} \quad (5.6)$$

де $C_{\text{оп}}$ – річні операційні витрати, грн/рік; R – витрати на ремонт і технічне обслуговування; M – експлуатаційні матеріали; E_p – річний економічний ефект; $T_{\text{ок}}$ – простий термін окупності; K_d – додаткові інвестиції.

Таблиця 5.2 – Результати порівняння базової та удосконаленої мішалки

Показник	Базова мі- шалка	Удосконалена мішалка	Відхилення
Тривалість циклу, год	1,26	1,02	-0,24
Електроенергія за цикл, кВт·год	18,83	15,24	-3,59
Витрати на електроенер- гію, грн/рік	39534	32004	-7530
Оплата праці, грн/рік	35769	28956	-6813
Ремонт і ТО, грн/рік	9000	10500	+1500
Експлуатаційні матеріали, грн/рік	3000	2800	-200
Разом операційні витрати, грн/рік	87304	74260	-13044
Додаткові інвестиції, грн	—	36000	—
Термін окупності, років	—	2,76	—

З таблиці 5.2 видно, що головна економія формується за рахунок скорочення часу перемішування. При однаковій потужності приводу 15 кВт витрати електроенергії на один цикл зменшуються з 18,83 до 15,24 кВт·год, а річні витрати на електроенергію – на 7530 грн. Додатково зменшується час зайнятості оператора, що дає економію 6813 грн/рік.

Удосконалений варіант має дещо більші витрати на ремонт і технічне обслуговування, оскільки конструкція містить регульований кронштейн і доопрацьовані лопаті. Проте це збільшення становить лише 1500 грн/рік і не перебиває економію за електроенергією та оплатою праці. Сумарні операційні витрати зменшуються з 87304 до 74260 грн/рік, тобто річний економічний ефект становить 13044 грн.

За додаткових інвестицій 36000 грн простий термін окупності становить $\text{Ток} = 36000 / 13044 = 2,76$ року. Для сільськогосподарського обладнання з тривалим строком використання такий результат можна вважати прийнятним, оскільки удосконалення одночасно знижує витрати і підвищує якість гомогенізації гнойової маси.

5.3 Висновки

Економічна оцінка показала, що удосконалення пропелерної мішалки є доцільним. За незмінної потужності приводу 15 кВт тривалість одного циклу перемішування резервуара об'ємом 42 м³ зменшується з 1,26 до 1,02 год. Завдяки цьому скорочуються витрати електроенергії та оплата праці оператора.

Річні операційні витрати базової мішалки становлять 87304 грн, а удосконаленої – 74260 грн. Річний економічний ефект дорівнює 13044 грн. При додаткових інвестиціях 36000 грн термін окупності становить 2,76 року, що підтверджує практичну доцільність реалізації запропонованого технічного рішення.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У першому розділі наведено характеристику сільськогосподарського підприємства, розглянуто його виробничі умови, земельні ресурси, стан рослинництва і тваринництва. Встановлено, що господарство має необхідну кормову базу та виробничі передумови для розвитку свинарства, а також потребує удосконалення технологічної лінії видалення рідкого гною.

У другому розділі обґрунтовано технологічну лінію видалення рідкого гною на відгодівельній свинофермі. Виконані розрахунки дали змогу визначити добовий вихід гною, місткість гноєзбірника, продуктивність сепаратора та параметри сховищ.

У третьому розділі розроблено конструктивне удосконалення пропелерної мішалки гною. Запропоновано виконати отвори в лопатях із загостреними кромками для створення додаткового турбулентного потоку, а також передбачити регулювання кута нахилу і поворот мішалки. Проведені розрахунки підтвердили працездатність основних елементів конструкції, зокрема робочого органа, болтових і зварних з'єднань.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці під час роботи з рідким гноєм та експлуатації удосконаленої мішалки. Розроблено інструкцію з охорони праці для оператора мішалки, яка передбачає безпечну підготовку, запуск, роботу, зупинку та дії в аварійних ситуаціях.

У п'ятому розділі виконано економічну оцінку розробленого удосконалення. Розрахований річний економічний ефект підтвердив доцільність впровадження удосконалення, а термін окупності додаткових інвестицій становить близько 2,8 року.

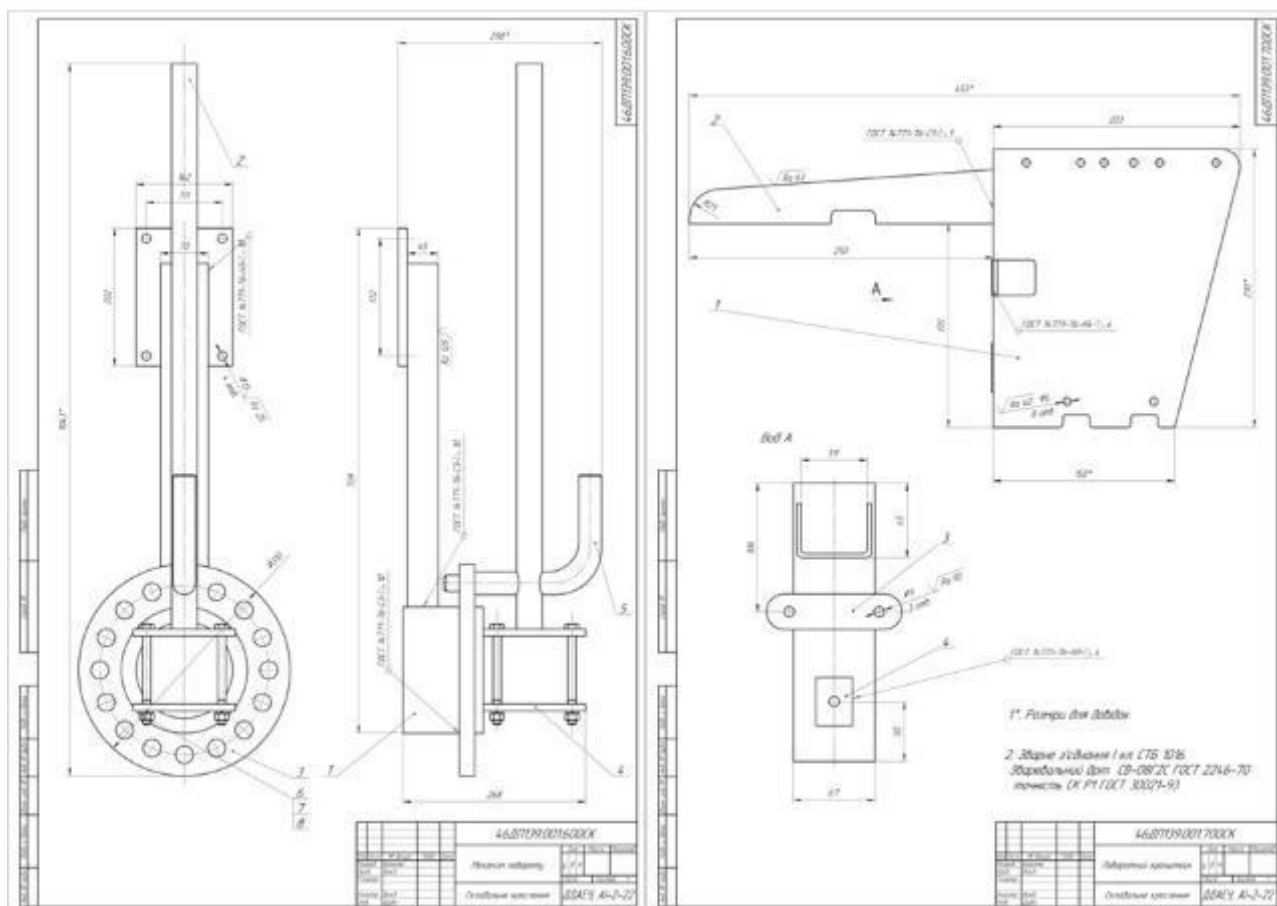
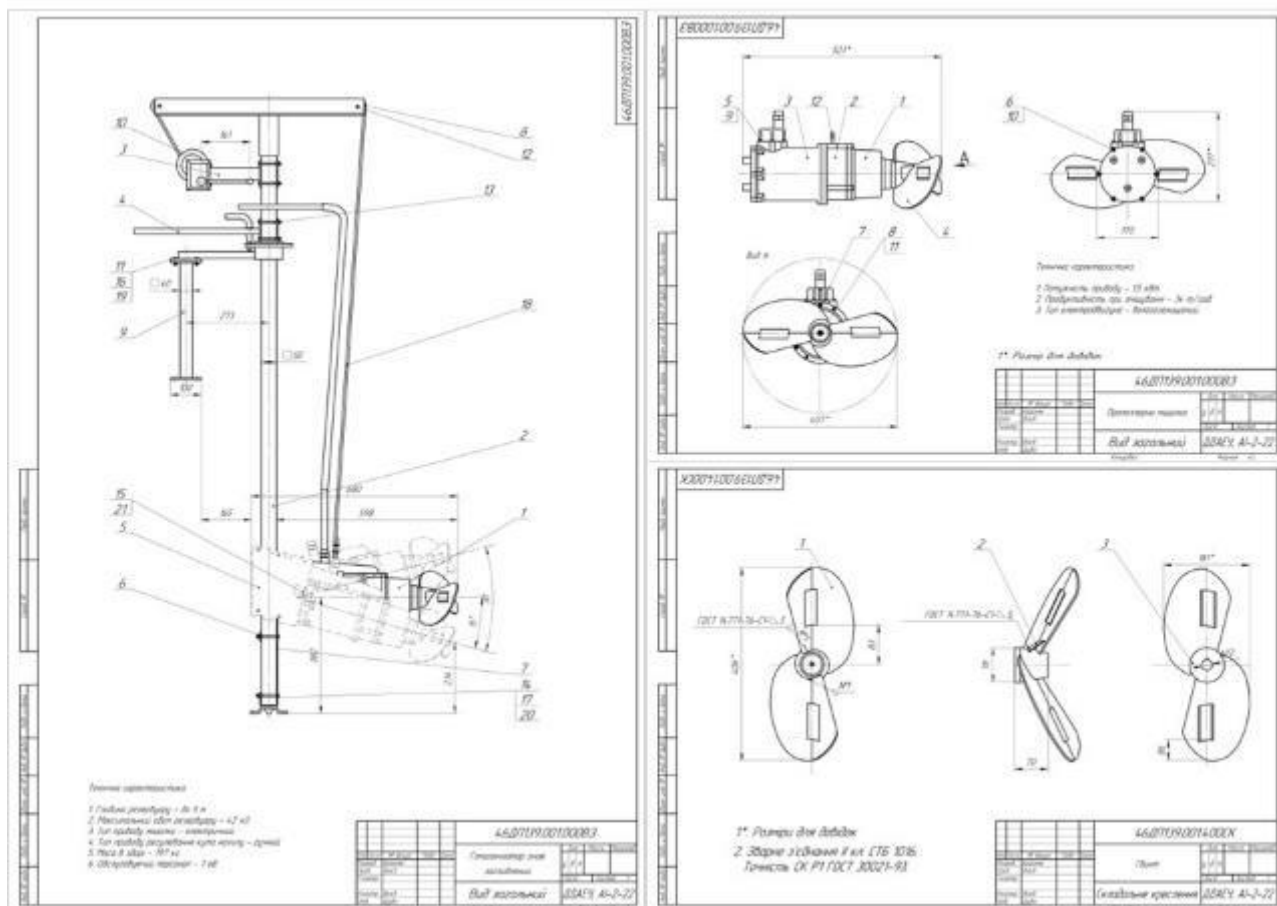
Отже, у дипломному проєкті обґрунтовано технологічну лінію видалення рідкого гною та запропоновано удосконалену конструкцію пропелерної мішалки, яка підвищує ефективність перемішування гнойової маси, зменшує застійні зони, покращує роботу гноєзбірника і забезпечує економічний ефект від впровадження.

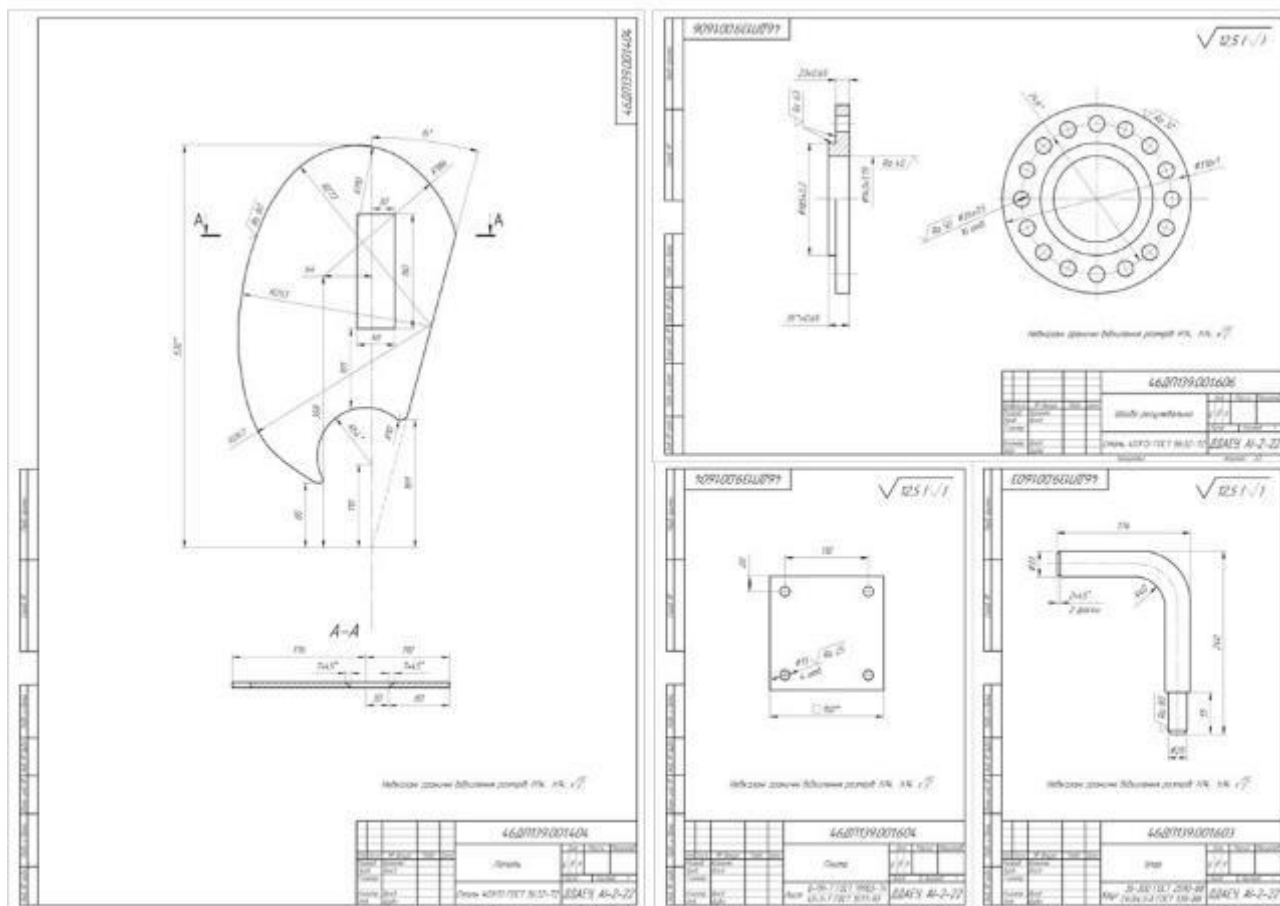
БІБЛІОГРАФІЯ

1. Машины для тваринництва та птахівництва // За редакцією В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника, Дослідницьке, УкрНДІВПТ ім. Погорілого – 2009, -207 с.
2. Романюха І.О., Дудін В.Ю. Курсове і дипломне проектування тваринницьких підприємств: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] /І.О. Романюха, В.Ю. Дудін; за ред. І. Романюхи. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2014. – 418 с.
3. American Society of Agricultural and Biological Engineers. (2014). ASAE D384.2 MAR2005 (R2014): Manure production and characteristics. ASABE Standards.
4. Chastain, J. P., Lucas, W. D., Albrecht, J. E., Pardue, J. C., Adams, J., & Moore, K. P. (2001). Removal of solids and major plant nutrients from swine manure using a screw press separator. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(3), 355–363.
5. Council of the European Union. (1991). Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1991/676>
6. Council of the European Union. (2008). Council Directive 2008/120/EC laying down minimum standards for the protection of pigs. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32008L0120>
7. European Environment Agency. (2023). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023: 3.B Manure management. <https://www.eea.europa.eu/>
8. Hjorth, M., Christensen, K. V., Christensen, M. L., & Sommer, S. G. (2010). Solid–liquid separation of animal slurry in theory and practice: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(1), 153–180. <https://doi.org/10.1051/agro/2009010>
9. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Chapter 10: Emissions from livestock and manure management. IPCC.
10. Lorimor, J., Powers, W., & Sutton, A. (2000). Manure characteristics: MWPS-18 Section 1 (2nd ed.). Midwest Plan Service.
11. Midwest Plan Service. (1985). Livestock waste facilities handbook (MWPS-18). Iowa State University Extension.

12. Møller, H. B., Lund, I., & Sommer, S. G. (2000). Solid–liquid separation of livestock slurry: Efficiency and cost. *Bioresource Technology*, 74(3), 223–229. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00016-X)
13. Mukhtar, S., Sweeten, J. M., & Auvermann, B. W. (1999). Solid-liquid separation of animal manure and wastewater. Texas Agricultural Extension Service.
14. Natural Resources Conservation Service. (2012). Agricultural waste management field handbook: Chapter 6: Role of plants in manure management. United States Department of Agriculture.
15. Natural Resources Conservation Service. (2019). National engineering handbook: Chapter 4: Solid-liquid separation alternatives for manure handling and treatment. United States Department of Agriculture.
16. Natural Resources Conservation Service. (2025). Part 651—Agricultural waste management field handbook: Agricultural waste characteristics. United States Department of Agriculture.
17. Occupational Safety and Health Administration. (2021). Working safely around manure storage structures. U.S. Department of Labor. <https://www.osha.gov/>
18. Pennsylvania State Extension. (2024). Manure gas safety. The Pennsylvania State University. <https://extension.psu.edu/>
19. U.S. Environmental Protection Agency. (2025). Practices to reduce methane emissions from livestock manure management. <https://www.epa.gov/agstar/practices-reduce-methane-emissions-livestock-manure-management>
20. Zhang, Y., Li, X., Wang, J., & Chen, L. (2023). Solid–liquid separation and its environmental impact on manure treatment in scaled pig farms: Evidence based on life cycle assessment. *Agriculture*, 13(12), 2284. <https://doi.org/10.3390/agriculture13122284>
21. Верховна Рада України. (1992). Закон України «Про охорону праці» № 2694-XII. <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>
22. Міністерство соціальної політики України. (2018). Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві: Наказ № 1240 від 29.08.2018. <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1090-18>

ДОДАТКИ





Основні небезпечні та шкідливі фактори при роботі з гноєм

Фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Заходи захисту
Шкідливі гази	Гноєзбірник, канали, зона перемішування	Отруєння, задуха, вибухонебезпечна атмосфера	Провітрювання, газоконтроль, заборона відкритого вогню
Обертові частини	Гвинт мішалки, вал, муфти	Захоплення одягу, травмування кінцівок	Огородження, блокування, зупинка перед регулюванням
Електричний струм	Електродвигун, кабелі, пускова апаратура	Ураження струмом, пожежа	Заземлення, захист від перевантаження, справна ізоляція
Слизькі поверхні	Бризки гною, вода, вологі проходи	Падіння, забої, переломи	Неслизьке покриття, прибирання проходів, спецвзуття
Біологічне забруднення	Гній, бризки, забруднений інструмент	Інфікування, подразнення шкіри та очей	ЗІЗ, санітарна обробка, аптечка, миття рук
Падіння в ємність	Відкриті люки, канали, резервуари	Тяжкі травми, утоплення, отруєння газами	Кришки, огороження, заборона роботи наодинці

		46819900000000000000	
		Imported from	
		Date: 1/1/2017	
		ASAP: 1/1/2017	

Показник	Базова мішалка	Удосконалена мішалка	Відхилення
Тривалість циклу, год	1,26	1,02	-0,24
Електроенергія за цикл, кВт·год	18,83	15,24	-3,59
Витрати на електроенергію, грн/рік	39534	32004	-7530
Оплата праці, грн/рік	35769	28956	-6813
Ремонт і ТО, грн/рік	9000	10500	+1500
Експлуатаційні матеріали, грн/рік	3000	2800	-200
Разом операційні витрати, грн/рік	87304	74260	-13044
Додаткові інвестиції, грн	-	36000	-
Термін окупності, років	-	2,76	-

			46071900000087					
			Описание товара:					
			ISATY A-2-					

Перв. примен.	Формат	Зона	Паз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание			
					Документация					
	A1			46ДП139.001.000 ВЗ	Вид загальний					
Справ. №					Складальні одиниці					
	A1	1	46ДП139.001.100	Міксер-гомогенізатор	1					
		2	46ДП139.001.200	Поворотна направляюча труба	1					
		3	46ДП139.001.300	Ледідка	1					
		4	46ДП139.001.400	Механізм повороту	1					
	A2	5	46ДП139.001.500	Кронштейн	1					
					Деталі					
		6	46ДП139.001.001	Пластина	1					
		7	46ДП139.001.002	Упор	1					
		8	46ДП139.001.003	Канатний блок	2					
		9	46ДП139.001.004	Стійка	1					
					Стандартні вироби					
Підп. и дата		10		Болт М12-6дх25.58 (S18) ГОСТ 7798-70	4					
		11		Болт М 12-6дх45.58 (S18) ГОСТ 7798-70	4					
		12		Болт М 12-6дх70.58 (S18)						
Взам. инд. №										
Підп. и дата										
Инд. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	46ДП139.001.000 ВЗ				
	Разраб.	Крайняк				Гомогенізатор зною заглиблений	Лист	Лист	Листов	
Проб.	Івлєв				у		в	п	1	2
Т.контр.					ДДАЕУ, АІ-1-22					
Н.контр.	Івлєв									
Утв.	Дудін									

Копировал

Формат А4

[illegible]

Перед. примеч.		Формат	Зона	Паз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание				
						Документация						
		A1			46ДП139.001.100СК	Складальне креслення						
						Складальні одиниці						
Склад. №			1		46ДП139.001.110	Редуктор	1					
			2		46ДП139.001.120	Запобіжна муфта	1					
			3		46ДП139.001.130	Електродвигун	1					
		A1	4		46ДП139.001.140	Гвинт	1					
					Стандартні вироби							
Підп. і дата			5			Болт М8-8gx35.66 Гост 11738-84	12					
			6			Болт М10-6gx40.66 Гост 11738-84	6					
			7			Болт М10-8gx160.58 Гост 11738-84	6					
			8			Болт М12-8gx45.58 Гост 11738-84	1					
			9			Шайба 8 3x13	12					
			10			Шайба 10 3x13	12					
			11			Шайба 12 3x13						
						ГОСТ 6402-70 Шпилька М16-6gx70.88 Гост 22039-76	1					
							46ДП139.001.100ВЗ					
Інд. № павд.	Ізк.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Мішалка			Лист	Лист	Листов	
	Разраб.	Крайняк							у	д	п	1
	Проб.	Івлев										
	Т.контр.											
	Н.контр.	Івлев										
	Чтв.	Дудін							ДДАЕУ, АІ-1-22			

Копіював

Формат А4