

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструкційно-технологічних
параметрів обладнання для знезараження гною**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-4-24
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Карпенко Юліан Сергійович

Керівник: _____ Малегін Роман Дмитрович

Рецензент: _____ Садченко Роман Вікторович

Дніпро 2025

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«24» жовтня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Карпенко Юліан Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів обладнання для знезараження гною

керівник роботи: Малєгін Роман Дмитрович, доктор філософії

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«24» жовтня 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2025 р.

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Теоретичне обґрунтування параметрів активатора. 3. Експериментальні дослідження активатора. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографічний список

5. Перелік демонстраційного матеріалу

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-5	Малегін Р.Д., ст. викл.		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 24.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2025 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2025 р.	
3	Експериментальний	до 09.11. 2025 р.	
4	Охорона праці	до 19.11. 2025 р.	
5	Економічний	до 26.11. 2025 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11. 2025 р.	

Студент

_____ (підпис)

Карпенко Ю.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Малегін Р.Д.
(прізвище та ініціали)

Карпенко Ю.С. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів обладнання для знезараження гною /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Дипломна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У першому розділі наведено аналіз стану питання поводження зі стоками тваринницьких підприємств та обґрунтовано вибір напрямку досліджень. У другому розділі викладено результати теоретичного дослідження динаміки руху робочих тіл в активаторі та розробки технічних рішень для їх утримання й повернення. Третій розділ присвячено експериментальним дослідженням, математичному моделюванню й оптимізації параметрів активатора. У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці при експлуатації розробленого обладнання. У п'ятому розділі наведено техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження активатора на свинофермі промислового типу.

Ключові слова: стоки тваринницьких підприємств, рідкий гній свиней, активатор, обертове електромагнітне поле, ферромагнітні робочі тіла, активний хлор, знезараження стоків, питома енергоємність, оптимізація параметрів, екологічна безпека свиноферми

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз стану питання	11
1.1 Види стоків тваринницьких підприємств	11
1.2 Процеси утилізації стоків тваринницьких підприємств	17
1.3 Аналіз конструкцій активаторів знезараження стоків	21
1.4 Висновки	26
1.5 Мета та завдання дослідження	28
2 Теоретичне обґрунтування параметрів активатора	29
2.1 Дослідження переміщення робочих тіл в основній зоні	29
2.2 Дослідження процесу переміщення робочих тіл у кінцевій зоні	31
2.3 Експериментальна перевірка результатів теоретичних розрахунків	38
2.4 Висновки	44
3 Експериментальні дослідження активатора	46
3.1 Методика досліджень	46
3.2 Результати експериментальних досліджень	51
3.3 Висновки	55
4 Охорона праці	57
4.1 Загальні вимоги охорони праці при переробці гною	57
4.2 Оцінка з точки зору охорони праці розробленого активатора	58
4.3 Проект інструкції з охорони праці оператора активатора	60
4.4 Висновки	64
5 Техніко-економічна оцінка	65
5.1 Вихідні дані	65
5.2 Результати розрахунків	65

5.3 Висновки	67
Загальні висновки	68
Бібліографія	70
Додатки	72

ВСТУП

Сучасний розвиток тваринництва, зокрема промислового свинарства, супроводжується істотним зростанням обсягів рідких та твердих відходів життєдіяльності тварин. Стоки свиноферм містять значну кількість органічних і біогенних речовин, а також патогенну й умовно-патогенну мікрофлору, яйця гельмінтів та інші біологічні контамінанти. За відсутності належної системи їх обробки та знезараження такі відходи стають джерелом мікробіологічного забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, сприяють поширенню інфекційних захворювань, погіршують санітарно-гігієнічний стан виробничих та прилеглих територій, а також викликають суттєвий соціально-екологічний дискомфорт.

В Україні на більшості свиноферм досі застосовуються переважно прості технології поводження з рідким гноєм – тривала витримка у лагунах, відстійниках або гноєсховищах з періодичною гомогенізацією та подальшим внесенням на поля. Такі схеми частково вирішують задачу накопичення та використання відходів як органічного добрива, однак не забезпечують достатнього рівня епідеміологічної безпеки, потребують значних площ під гноєсховища, супроводжуються викидами запахів і втратами поживних речовин. Крім того, традиційні механічні та гідравлічні системи видалення й переробки стоків часто є енергоємними та технологічно інерційними.

В умовах посилення екологічних вимог, подорожчання енергоресурсів і необхідності гармонізації з європейськими стандартами особливої актуальності набуває створення інтенсивних, керованих і енергоефективних технологій знезараження стоків свинарських підприємств. Перспективним напрямом є використання комплексного фізико-хімічного впливу, що поєднує дію обертового змінного електромагнітного поля, рухомих ферромагнітних робочих тіл і хлорвмісного реагенту. Реалізація такого впливу в спеціальному активаторі дозволяє інтенсифікувати процес знезараження, скоротити тривалість обробки, знизити витрати енергії й реагентів та підвищити надійність технологічної лінії в цілому.

У той же час аналіз існуючих конструкцій активаторів показує низку недоліків при їх роботі з рідкими середовищами: відсутність систем надійного утримання робочих тіл у робочій зоні, їх винесення потоком за межі апарата та потрапляння в готовий продукт, нерівномірність заповнення робочого об'єму, що знижує ефективність знезараження та ускладнює експлуатацію. Це зумовлює необхідність теоретичного та експериментального обґрунтування параметрів активатора, а також розробки конструктивних рішень, які забезпечують замкнений і контрольований рух робочих тіл у робочій та постробочій зонах.

Метою дипломної роботи є зниження питомої енергоємності активатора знезараження стоків тваринницьких (свинарських) підприємств за рахунок оптимізації його конструктивно-режимних параметрів при забезпеченні нормативного рівня мікробіологічної безпеки.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі основні завдання:

- теоретично дослідити динаміку переміщення ферромагнітних робочих тіл у робочій та постробочій зонах активатора у потоці рідини;
- розробити та обґрунтувати технічні рішення щодо утримання робочих тіл у робочій зоні та їх повернення з постробочої зони, запобігаючи винесенню стержнів за межі активатора;
- експериментально дослідити вплив основних факторів (ступеня заповнення робочої зони стержнями, відношення довжини стержнів до їх діаметра, магнітної індукції, концентрації активного хлору та тривалості обробки) на питому енергоємність процесу та ступінь знезараження стоків;
- побудувати математичні моделі та виконати оптимізацію параметрів активатора за критерієм мінімальної питомої енергоємності при дотриманні санітарно-бактеріологічних вимог;
- оцінити економічну ефективність упровадження розробленої технології знезараження стоків на свинофермі з поголів'ям 10 000 голів у порівнянні з традиційною технологією витримки з гомогенізацією;

– проаналізувати умови праці при експлуатації активатора, визначити основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори й запропонувати заходи з охорони праці оператора.

Об'єктом дослідження є процес знезараження рідких стоків свиноферми в активаторі, що працює в обертовому електромагнітному полі з використанням ферромагнітних робочих тіл та активного хлору.

Предмет дослідження – залежності показників роботи активатора (ступінь знезараження за числом колонієутворюючих одиниць, питома енергоємність процесу, надійність утримання робочих тіл) від його конструктивних і режимних параметрів.

1 Аналіз стану питання

1.1 Види стоків тваринницьких підприємств

Стічні води тваринницьких підприємств, як і стоки будь-яких інших виробництв, мають відповідати загальним нормованим вимогам щодо складу та безпеки. Окрім цього, для тваринницьких комплексів встановлено додаткові нормативи як до самих стоків, так і до продуктів, що утворюються в результаті їх переробки та утилізації. Згідно з чинними підходами, усі стоки тваринницьких підприємств поділяють на три основні групи: поверхнево-зливові, господарсько-побутові та виробничі.

Основним джерелом поверхнево-злизових стоків є талі та дощові води, що стікають з покрівель, майданчиків, доріг та інших відкритих поверхонь. Збір і відведення таких вод здійснюють системою дощової (ливневої) каналізації. Перед скиданням у навколишнє середовище ці стоки підлягають знезараженню, оскільки містять мікроорганізми, механічні домішки та залишки органіки, що змиваються з території підприємства.

Джерелом господарсько-побутових стоків є води, що утворюються в житлових, адміністративних будівлях та побутових приміщеннях підприємства. За даними досліджень, у їх складі приблизно 42 % припадає на мінеральні домішки та 58 % – на органічні. Фізико-хімічні й біологічні характеристики таких стічних вод детально описані у спеціальній літературі. Збір і відведення господарсько-побутових стоків зазвичай здійснюють централізованою каналізаційною системою з обов'язковим попереднім знезараженням.

Виробничі стоки тваринницьких підприємств формуються в результаті технологічних процесів. До них належать:

- стоки зі стійл та проходів для тварин;
- води, що утворюються при митті коренеплодів для приготування кормів;
- стоки з доїльних залів і майданчиків;
- забруднені води з відкритих майданчиків утримання тварин і розміщення технічного обладнання.

З огляду на джерело утворення виробничі стоки тваринницьких підприємств доцільно поділяти на дві групи:

- стоки, зумовлені життєдіяльністю тварин;
- стоки, зумовлені технологією їх утримання та обслуговування.

Стічні води, пов'язані з життєдіяльністю тварин, складаються з твердої та рідкої фракцій.

Тверда фракція – це нетекуча маса калових екскрементів, що утворюються в процесі життєдіяльності тварин. Удельна густина сухої речовини такої фракції становить близько 1400 кг/м³. Її фізико-хімічні параметри свідчать про високий вміст органічних і біогенних елементів, що робить тверду фракцію перспективною сировиною для виробництва органічних добрив.

Для епідеміологічно безпечної утилізації виробничих стоків необхідне надійне розділення їх на тверду й рідку фракції відповідно до вимог нормативних документів.

Рідка фракція являє собою текучу масу, що складається переважно з сечі тварин та технологічної води для змиву. Питомий об'єм і вологість стоків, що припадають на одну тварину на свиногосподарствах, подано в табл. А.6. Аналіз цих даних показує, що стоки свинарства характеризуються підвищеним вмістом органічних і біогенних речовин, що робить їх цінним добривом, здатним підвищувати вміст гумусу та загальний рівень родючості ґрунтів.

У результаті аналізу літературних джерел встановлено, що виробничі стоки свинарських комплексів є найбільш небезпечними для довкілля в епідеміологічному відношенні порівняно зі стоками підприємств ВРХ, при цьому вони мають і вищу концентрацію біогенних елементів (табл. 1.1).

Запропоновані в роботі підходи до безпечної утилізації свинячих стоків можуть бути адаптовані й для стічних вод підприємств з утримання великої рогатої худоби з урахуванням особливостей їх складу.

Склад і властивості стоків значною мірою визначаються технологією утримання тварин і способом видалення відходів. За способом утримання тварин виділяють вигульні та безвигульні технології. Безвигульне утримання може бути

прив'язним і безприв'язним, із використанням підстилки або без неї; вигульне – станково-вигульне та вільно-вигульне (на пасовищах).

До переваг вигульного утримання належать:

- перебування тварин на свіжому повітрі та активний моціон, що підвищує резистентність організму;
- можливість використання зелених кормів, що сприяє підвищенню продуктивності та зниженню собівартості продукції.

Таблиця 1.1 – Вміст біогенних речовин у відходах життєдіяльності різних видів тварин

№	Вид тварин	Азот N	Фосфор P ₂ O ₅	Калій K ₂ O
1	Велика рогата худоба	3,2	1,8	5,0
2	Свині	6,0	3,2	2,5

Серед недоліків вигульної технології – зниження рівня екологічної безпеки через поширення патогенних і умовно патогенних мікроорганізмів унаслідок вільного переміщення тварин. Крім того, в умовах промислового виробництва вигульні системи утримання поступаються за технологічною ефективністю, у зв'язку з чим їх застосування обмежене.

Безвигульні технології включають напільно-станкове, клітково-батареjne, ярусне та контейнерне утримання. Їх перевагами є:

- зменшення витрат ручної праці;
- підвищення виробничих потужностей;
- кращий контроль санітарно-епідеміологічної безпеки виробничих процесів.

Головний недолік безвигульних систем – необхідність створення розгалужених механізованих і автоматизованих систем видалення та транспортування стоків, що підвищує питомі енерговитрати. Попри це, саме безвигульні схеми утримання вважаються нині найбільш розповсюдженими й перспективними в умовах індустріального ведення тваринництва.

Залежно від виду тварин використовують підстилкову або безпідстилкову технологію утримання. Підстилка виконує функції теплоізоляції, покращує мікроклімат, забезпечує комфортні умови для тварин і поглинає рідкі стоки. Норми витрати та вибір матеріалу підстилки залежать від виду й віку тварин, технології утримання та кліматичних умов регіону. До матеріалів підстилки висувають такі основні вимоги: достатня гігроскопічність і вологоємність, сухість, відсутність стороннього запаху й можливість подальшого використання відпрацьованої підстилки як добрива.

З епідеміологічної точки зору перезволожена підстилка є джерелом значної кількості патогенних мікроорганізмів і сприяє розвитку захворювань кінцівок (некробактеріоз, розм'якшення копитного рогу тощо). Тому заміну підстилки необхідно здійснювати в міру її зволоження та забруднення. При цьому утилізація відпрацьованої підстилки потребує значних енергетичних витрат, що враховується при виборі технологічних схем. Загальні підходи до утилізації таких відходів детально розглянуті в низці наукових праць. На основі аналізу можна зробити висновок, що індустріальне тваринництво тяжіє до безпідстилкових систем утримання.

Видалення стоків та їх транспортування за межі тваринницьких приміщень здійснюють механічними або гідравлічними способами. До механічних належать:

- скребкові, штангові й шнекові транспортери;
- скреперні установки зворотно-поступальної дії;
- бульдозери різних типів.

Гідравлічні способи включають самоплинні системи безперервної та періодичної дії, а також прямий змив стоків водою. При гідравлічних способах обов'язковим є влаштування вентиляції каналів.

Механічні способи видалення стоків характеризуються підвищеною питомою енергоємністю та меншою екологічною ефективністю, що обмежує доцільність їх застосування в сучасних умовах. Натомість гідравлічні системи нині є найбільш розповсюдженими та перспективними для видалення виробничих стоків із зон утримання тварин.

Гідравлічні системи видалення стоків можна поділити на:

- системи постійної (безперервної) дії;
- системи періодичної дії;
- самоплинні;
- гідрозмивні.

Самоплинна система безперервної дії застосовується переважно:

у приміщеннях для великої рогатої худоби при безпідстилковому утриманні та годівлі силосом, коренеплодами, бардою, жомом і зеленою масою; у свинарниках при годівлі рідкими та сухими кормами без використання комбісилосу і зеленої маси.

Рух стоків у таких системах забезпечується завдяки їх сповзанню по каналах із заданим ухилом. Надійна робота системи досягається за умови:

- вологості стоків на рівні 88...92 %;
- недопущення потрапляння кормів у канали;
- герметичності каналів.

Самоплинна система періодичної дії може використовуватися на всіх тваринницьких підприємствах із безпідстилковим утриманням. У цьому випадку стоки накопичуються в поздовжніх каналах, обладнаних шиберами для періодичного випуску в поперечний канал. Поздовжні канали проектують з ухилом не менше 0,005, а їх об'єм має забезпечувати акумулювання стоків протягом 7...14 діб. Надійна робота системи забезпечується при вологості гною близько 96,5 %.

На підставі проведеного аналізу стічних вод тваринницьких підприємств можна зробити такі узагальнення:

- найбільш поширеним і перспективним способом утримання тварин є безвигульний, а видалення стоків – за допомогою гідравлічних самоплинних систем;
- тверда фракція виробничих стоків складається з гною та підстилки, рідка – із сечі та змивної води;

- усі види стоків (тверда й рідка фракції поверхнево-зливових, господарсько-побутових і виробничих вод) становлять значну епідеміологічну небезпеку, тому потребують знезараження;

- найбільшу кількість та небезпеку становлять тверда й рідка фракції виробничих стоків, при цьому стоки свинарських підприємств суттєво небезпечніші за стоки ВРХ, але водночас мають високу удобрювальну цінність завдяки значному вмісту біогенних елементів.

Блок-схему класифікації процесу утворення стоків тваринницьких підприємств наведено на рисунку 1.1 На ній червоним кольором позначено місце досліджуваної в роботі операції в загальному технологічному процесі.

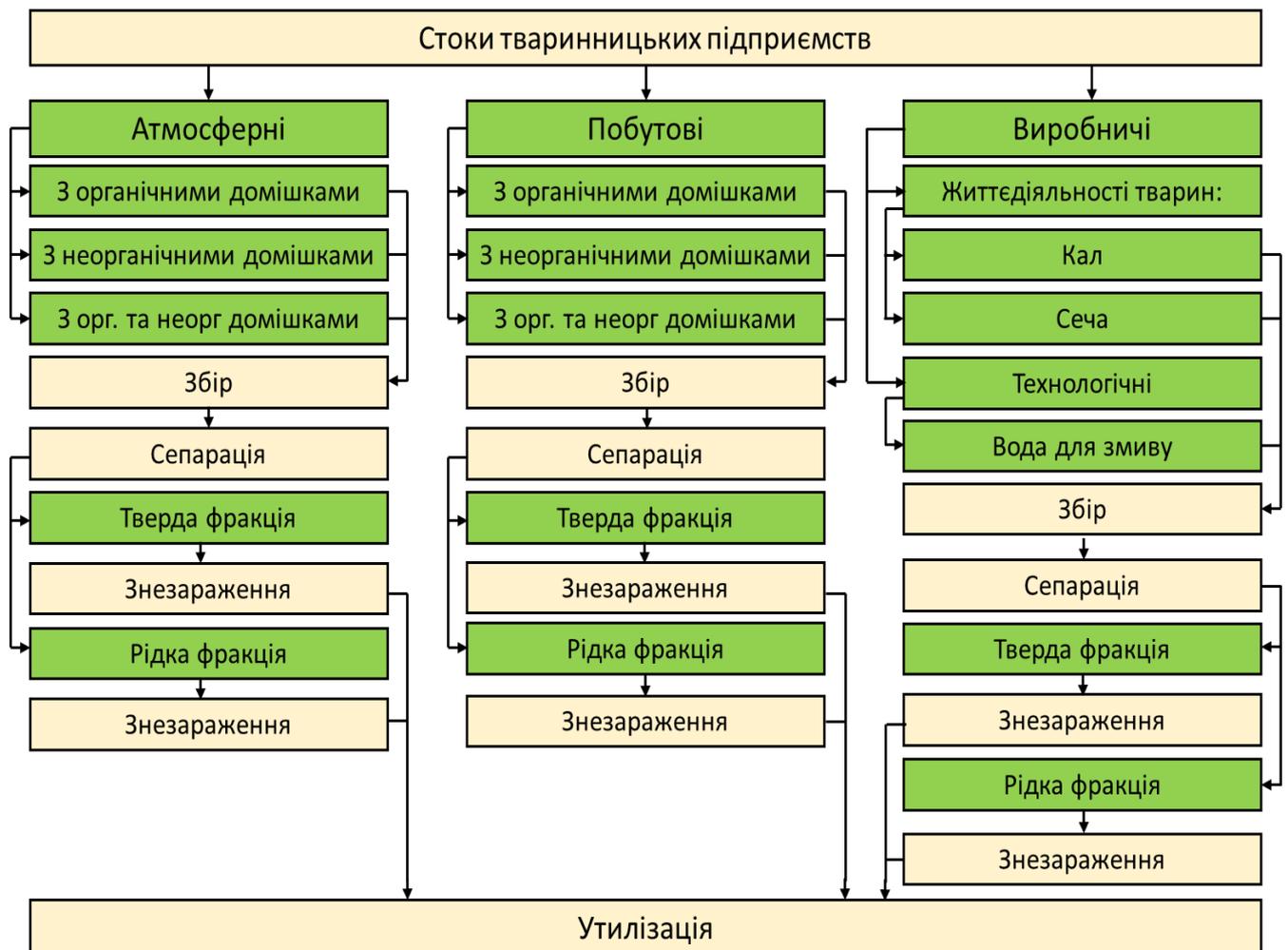


Рисунок 1.1 – Блок-схема класифікації стоків тваринницьких підприємств

1.2 Процеси утилізації стоків тваринницьких підприємств

У даній роботі під утилізацією розуміють технологічний процес перетворення стічних вод, що утворюються внаслідок життєдіяльності тварин і технології їх утримання, у продукт, придатний для подальшого безпечного використання або тривалого зберігання.

Як зазначалося в підпункті 1.1, у результаті функціонування тваринницького підприємства утворюються тверда та рідка фракції відходів. Рідка фракція представлена стоками, які за походженням поділяють на поверхнево-зливові, господарсько-побутові та виробничі. Для забезпечення епідеміологічно безпечної утилізації всі види відходів доцільно попередньо розділяти на фракції з подальшою окремою переробкою кожної з них.

На рисунку 1.2 подано узагальнену технологічну схему утворення та утилізації стічних вод на тваринницькому підприємстві. У подальшому розглядаються переважно варіанти утилізації саме рідких фракцій, тобто стоків, хоча проблема переробки твердих відходів (гною, підстилки тощо) є не менш важливою. Серед рідких фракцій особливу увагу приділено виробничим стокам, які характеризуються найбільшим обсягом та високою добривною цінністю.

Аналіз літературних джерел дозволив виділити два основні напрями утилізації виробничих стоків тваринницьких підприємств:

- використання в системах виробничого зворотного водопостачання;
- застосування для зрошення та удобрення сільськогосподарських угідь.

Використання стічних вод у системі зворотного водопостачання дає змогу зменшити витрати свіжих водних ресурсів і підвищити ефективність їх використання. Водночас цей варіант має низку суттєвих недоліків:

- поживні органічні та мінеральні речовини, що містяться у стоках, практично не залучаються в кругообіг елементів живлення рослин;
- до очищення таких вод висуваються підвищені вимоги щодо епідеміологічної безпеки, що потребує поглиблених процесів знезараження та знешкодження;
- зростають експлуатаційні витрати та собівартість очищення стічних вод.

На рисунку 1.2 наведено місце досліджуваної в роботі операції в загальному циклі утворення й утилізації стоків тваринницького підприємства, а на рисунку 1.3 – блок-схему технологічного процесу утворення та утилізації виробничих стоків.

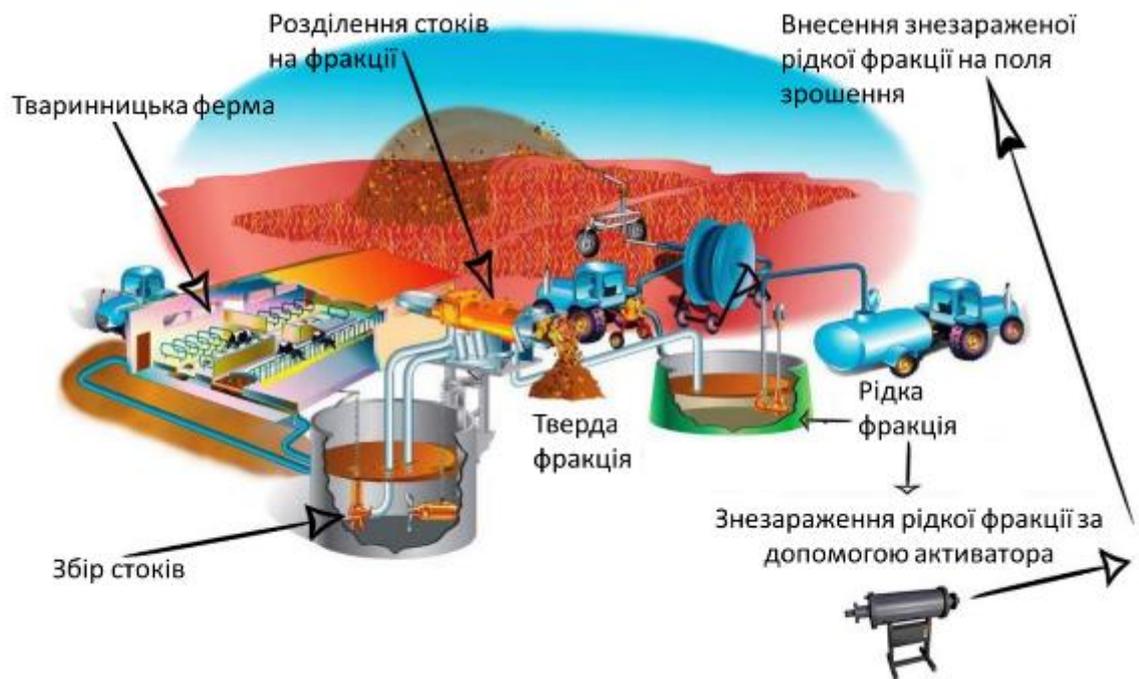


Рисунок 1.2 – Технологічна схема утворення та утилізації стічних вод на тваринницькій фермі

Застосування стоків тваринницьких підприємств для зрошення та удобрення сільськогосподарських полів має низку переваг. По-перше, такі стоки містять значну кількість органічних і мінеральних речовин, що дає змогу:

- підвищити вміст гумусу в ґрунті завдяки наявності органічного азоту, який мінералізується при контакті з ґрунтовим середовищем;
- знизити кислотність ґрунту за рахунок надходження магнію, кальцію, калію, азоту й фосфору, що сприяє поліпшенню агрохімічних показників та зростанню родючості;
- підвищити врожайність сільськогосподарських культур і, відповідно, зменшити потребу в мінеральних і органічних добривах.

По-друге, використання стоків для зрошення дає можливість економити прісну воду, що особливо актуально в регіонах з дефіцитом водних ресурсів.

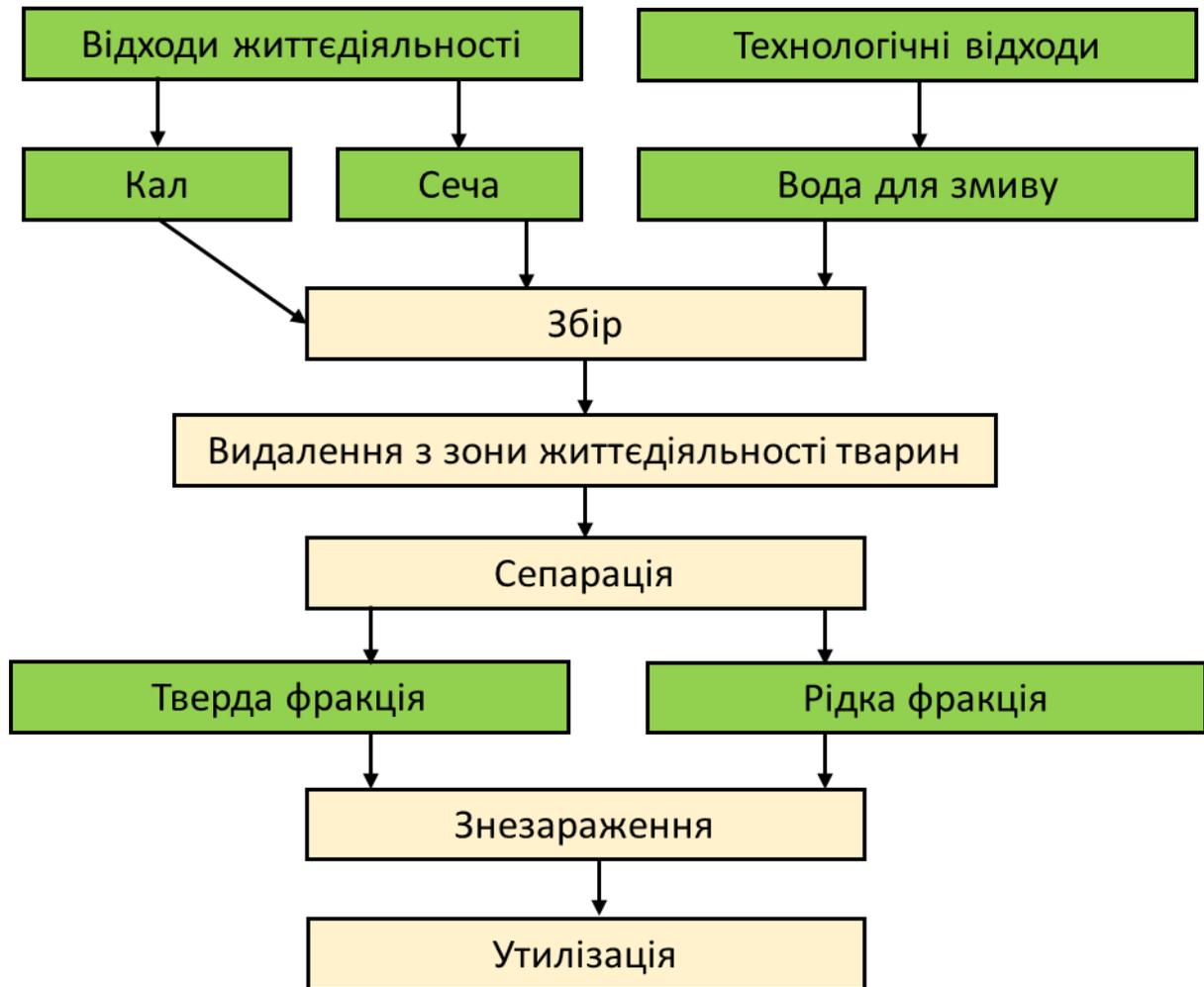


Рисунок 1.3 – Блок-схема утворення та утилізації виробничих стічних вод на тваринницькій фермі

До недоліків такого варіанту утилізації належить ризик потрапляння патогенних і умовно патогенних мікроорганізмів у навколишнє середовище при недостатньому знезараженні стоків. Це може призвести до мікробного забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, а також сільськогосподарської продукції.

Отже, аналіз основних варіантів утилізації виробничих стоків тваринницьких підприємств дає підстави стверджувати, що найбільш перспективним напрямом є їх використання для зрошення

сільськогосподарських угідь з одночасним внесенням як органо-мінерального добрива. Висока добривна цінність таких стоків дозволяє підвищити ефективність землеробства. Водночас, незалежно від обраного способу утилізації, обов'язковою умовою є надійне знезараження стоків, яке забезпечує епідеміологічну безпеку технологічного процесу та навколишнього середовища.

Найбільш поширеними способами знезараження стічних вод тваринницьких підприємств є хлорування, ультрафіолетове опромінення, термофільне зброджування, опромінення інфрачервоним випромінюванням, компостування, витримування на мулових майданчиках, а також різні комбіновані поєднання цих методів.

Основу перелічених способів становлять різні види впливу на стоки, які доцільно розглянути детальніше.

Залежно від характеру впливу способи знезараження поділяють на: фізичні; хімічні; біологічні; комбіновані.

До фізичних методів відносять: механічні коливання; дію електромагнітних полів (постійних, змінних, обертових); дію імпульсних електричних полів; термічний вплив.

Фізичний вплив механічними коливаннями може здійснюватися в таких діапазонах частот: низькі – менше 20 Гц; звукові – 20...30 Гц; ультразвукові – 16 Гц...200 кГц; високі – 200 кГц...30 МГц; ультрависокі – 30...300 МГц; надвисокі – понад 300 МГц.

У багатьох дослідженнях показано, що найвираженіший бактерицидний ефект забезпечує вплив ультразвукової частоти (УЗЧ). Появу такого ефекту пов'язують із так званими вторинними фізико-хімічними процесами: інтенсивним перемішуванням внутрішньоклітинних структур під дією механічних коливань, розривом молекулярних зв'язків, прискоренням дифузійних процесів і підвищенням проникності клітинних оболонок.

Інша група дослідників пов'язує бактерицидний ефект УЗЧ переважно з явищем кавітації. У ролі «молекулярного сенсора» розглядають ушкодження флагеліну – білка, що є основою джгутиків бактерій. Такі ушкодження виникають унаслідок високого внутрішньоклітинного тиску та утворення у

водному середовищі гідроксильних радикалів і атомарного кисню. Найбільш небезпечним для життєдіяльності патогенних мікроорганізмів вважають низькочастотний діапазон ультразвуку приблизно 20...100 кГц.

Водночас зазначається, що залежно від частоти та інтенсивності ультразвукових коливань їх дія може бути не лише пригнічувальною, а й стимулюючою для окремих груп мікроорганізмів.

Переваги фізичного знезараження ультразвуком:

- відсутність токсичних побічних продуктів;
- ефект практично не залежить від мутності, жорсткості й рН середовища.

Недоліки:

- відсутність пролонгованого (тривалого) післядії бактерицидного ефекту;
- значна тривалість обробки (порядку 20 хвилин);
- можливість стимулювання розвитку деяких бактеріальних форм за певних режимів роботи.

Отже, застосування лише ультразвукового впливу як самостійного методу знезараження стоків тваринницьких підприємств є недостатньо ефективним: воно потребує тривалого часу обробки і не забезпечує тривалого захисного ефекту. Тому на практиці його доцільніше поєднувати з іншими способами очищення та знезараження.

1.3 Аналіз конструкцій активаторів знезараження стоків

Як показано вище, одним із найперспективніших способів знезараження стічних вод тваринницьких підприємств є поєднання фізико-хімічного впливу рухомих робочих тіл з активним хлором у змінному обертовому електромагнітному полі. Для реалізації такого виду впливу найбільш доцільно використовувати спеціалізований пристрій – активатор.

Під активатором розуміють установку, що забезпечує перетворення енергії обертового змінного електромагнітного поля в кінетичну енергію робочих тіл, які переміщуються в його робочому об'ємі. Високий рівень енергетичної та

технологічної ефективності таких пристроїв досягається завдяки відсутності в робочій зоні механічних передавальних елементів. Це дає можливість передавати енергію безпосередньо від електромагнітного поля до робочих тіл і водночас підвищує надійність вузлів і агрегатів. Фізичні принципи роботи активаторів детально висвітлено в спеціальних наукових працях.

З позицій фізики активатор являє собою систему, у якій основну функцію робочого органа виконують тіла, що рухаються в робочій камері й взаємодіють, з одного боку, з технологічним середовищем, а з іншого – із приводом, роль якого відіграє обертове змінне електромагнітне поле індуктора. Така схема дає змогу інтенсифікувати перебіг різних процесів за рахунок зниження питомих енерговитрат порівняно з традиційним обладнанням, оскільки між приводом і робочими тілами відсутні механічні передачі, а в зоні обробки формуються додаткові інтенсифікуючі ефекти.

За принципом дії активатори поділяють на установки періодичної та безперервної дії. Незалежно від режиму роботи та конкретного конструктивного виконання, у загальному випадку активатор містить такі основні складові:

- електромагнітну систему з індуктором, що формує обертове змінне електромагнітне поле;
- механічну систему у вигляді робочих тіл, які вільно переміщуються в полі індуктора;
- робочу камеру, в межах якої розташовані електромагнітна та механічна частини;
- систему керування роботою активатора;
- захисний корпус.

На рисунку 1.3 подано принципову схему активатора, що містить корпус 1, циліндричну парамагнітну втулку 2, індуктор 3 та робочі тіла 4. На схемі умовно виділені:

- зона подачі вихідного матеріалу (передробоча зона);
- робоча зона, де матеріал піддається дії робочих тіл, що рухаються під впливом електромагнітного поля;
- зона відведення обробленого продукту (післяробоча зона).

Залежно від вимог до певного технологічного процесу, для врахування його особливостей і підвищення ефективності, конструкція активатора може доповнюватися додатковими елементами. Окремі виконання передбачають застосування систем охолодження індуктора, де як охолоджувальне середовище використовують сухе трансформаторне масло, воду або безпосередньо сам технологічний матеріал.

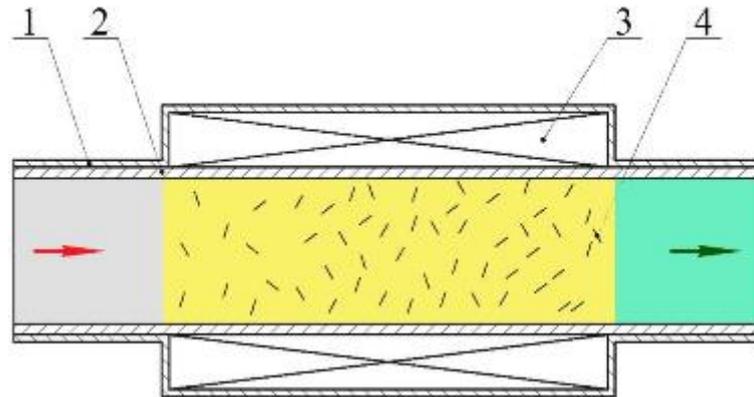


Рисунок 1.4 – Принципова схема роботи активатора

Далі розглянемо докладніше активатори періодичної (циклічної) та безперервної дії.

До активаторів циклічної дії належать пристрої, робоча камера яких має сферову, кільцеву або еліпсоїдну форму. Узагальнений вигляд активатора циклічної дії наведено на рисунку 1.5. Основними конструктивними елементами таких активаторів є:

- робоча камера з індуктором та робочими тілами;
- блок керування;
- станина, що забезпечує можливість змінювати кутове положення робочої камери у просторі.

До переваг активаторів циклічної дії можна віднести їх відносну мобільність, а також можливість автоматизованого позиціонування робочої камери, що дає змогу інтенсифікувати перебіг окремих процесів.

Разом з тим такі пристрої мають суттєві недоліки:

- конструкція мало пристосована до роботи з рідкими середовищами;
- обмежена продуктивність;
- необхідність застосування магнітних сепараторів для вилучення робочих тіл із готового продукту;
- наявність застійних зон у робочому об'ємі.

Отже, з урахуванням наведених особливостей можна зробити висновок, що застосування активаторів циклічної дії для знезараження стічних вод тваринницьких підприємств є малоефективним через низьку продуктивність і відсутність спеціальних систем утримання робочих тіл у робочій зоні під час обробки рідких середовищ.



Рисунок 1.5 – Активатор циклічної дії

До активаторів безперервної дії відносять пристрої, робоча камера яких має циліндричну або циліндро-конічну форму. У ряді конструкцій передбачена можливість зміни просторового положення робочої камери. Найбільшого поширення набули:

- горизонтальні активатори;
- вертикальні активатори;
- вертикальні активатори зі змінним кутом нахилу робочої камери.

Загальний вигляд активатора безперервної дії наведено на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Активатор безперервної дії

Основною перевагою таких пристроїв є можливість реалізації безперервного процесу обробки, що суттєво підвищує їхню продуктивність та придатність для промислового використання.

До недоліків належать:

- відсутність системи утримання робочих тіл у робочій зоні під час роботи з рідкими середовищами;
- відсутність механізмів захоплення та повернення робочих тіл, які потрапляють у післяробочу зону.

Ці фактори можуть істотно погіршувати якісні показники процесу знезараження.

На підставі проведеного аналізу можна дійти висновку, що активатори безперервної дії є більш придатними для знезараження стоків тваринницьких підприємств за умови усунення наведених конструктивних недоліків.

Як свідчить аналіз інформаційних джерел, на сьогодні відомо близько сотні різних конструктивних виконань активаторів. У додатку А на рисунку А.1 наведено блок-схему їх класифікації. Окрім поділу за принципом дії, активатори класифікують:

- за характером процесів, що реалізуються: як реактори, змішувачі, подрібнювачі, пристрої комплексної дії;
- за фізичними властивостями оброблюваного середовища: системи типу рідина–рідина, рідина–газ, рідина–тверде тіло, тверде–тверде, газ–тверде тіло;
- за конструкцією робочих тіл: циліндричні (стрижневі), кульові, пропелерного типу, пластинчасті, спіральні, з закріпленими або вільними феромагнітними елементами, з екранованими або неекранованими елементами.

Незважаючи на значне різноманіття конструкцій, спільною проблемою для більшості активаторів є утримання феромагнітних частинок у межах робочої зони та їх повернення з післяробочої зони у передробочу. Це суттєво обмежує можливість широкого практичного застосування таких пристроїв у процесах обробки рідких середовищ.

Таким чином, незалежно від типу конструкції, завдання утримання робочих тіл у робочій зоні активатора при роботі з рідкими стоками залишається актуальною. Для її розв'язання необхідно виконати теоретичні дослідження, спрямовані на обґрунтування параметрів пристрою для утримання й повернення робочих тіл, а також розробити відповідні технічні рішення, які дозволять усунути зазначені недоліки конструкцій активаторів при їх застосуванні для знезараження стоків.

1.4 Висновки

Встановлено, що стоки тваринницьких підприємств за походженням поділяються на поверхнево-зливові, господарсько-побутові та виробничі,

причому найбільшу епідеміологічну небезпеку та об'єм мають виробничі стоки, пов'язані з життєдіяльністю тварин (тверда й рідка фракції).

Показано, що стоки свинарських комплексів характеризуються вищим вмістом органічних і біогенних речовин та більшою епідеміологічною небезпекою порівняно зі стоками ВРХ, але водночас мають високу удобрювальну цінність.

Обґрунтовано, що в умовах індустриального тваринництва найбільш поширеним є безвигульне (переважно безпідстилке) утримання тварин із застосуванням гідравлічних самоплинних систем видалення стоків, які забезпечують достатню технологічну ефективність, але потребують подальшої оптимізації з екологічних позицій.

Показано, що незалежно від обраного способу утилізації обов'язковою умовою є надійне знезараження стоків, для чого застосовують фізичні, хімічні, біологічні та комбіновані методи (хлорування, УФ-опромінення, термофільне зброджування, компостування тощо).

Встановлено, що застосування окремих фізичних методів (зокрема ультразвукового впливу) у чистому вигляді є недостатньо ефективним через відсутність пролонгованого бактерицидного ефекту, значну тривалість обробки та можливість стимуляції розвитку окремих форм мікроорганізмів.

На основі аналізу конструкцій активаторів зроблено висновок, що найбільш перспективним для знезараження рідких виробничих стоків є комплексний фізико-хімічний вплив у обертовому змінному електромагнітному полі з використанням активаторів безперервної дії. При цьому виявлено ключову науково-технічну проблему – відсутність надійних систем утримання та повернення феромагнітних робочих тіл у робочу зону при роботі з рідкими середовищами, що й обумовлює необхідність подальших досліджень і вдосконалення конструкції активатора.

1.5 Мета та завдання дослідження

Мета дослідження – зниження питомої енергоємності активатора знезараження стічних вод тваринницьких підприємств шляхом оптимізації його параметрів.

Об'єкт дослідження – параметри активатора для знезараження стоків тваринницьких підприємств.

Предмет дослідження – залежності показників роботи активатора знезараження стоків тваринницьких підприємств від його конструктивних і режимних параметрів.

Завдання дослідження:

- теоретично дослідити динаміку переміщення робочих тіл у обертovому потоці рідини в активаторі;
- експериментально дослідити параметри активатора під час знезараження стічних вод тваринницьких підприємств;
- оцінити економічний ефект від застосування запропонованого активатора для знезараження стоків тваринницьких підприємств.

2 Теоретичне обґрунтування параметрів активатора

2.1 Дослідження переміщення робочих тіл в основній зоні

Під дією електромагнітного поля робочі тіла здійснюють складний рух у радіальній площині активатора (рисунок 2.1).

По-перше, вони почергово зміщуються в радіальному напрямку до протилежних полюсів індуктора в міру подачі на них електроенергії. По-друге, при підключенні наступної пари полюсів робочі тіла здійснюють обертальний рух відносно центральної повздовжньої осі робочої камери активатора. У результаті їхній рух можна охарактеризувати як коливально-обертальний відносно повздовжньої осі.

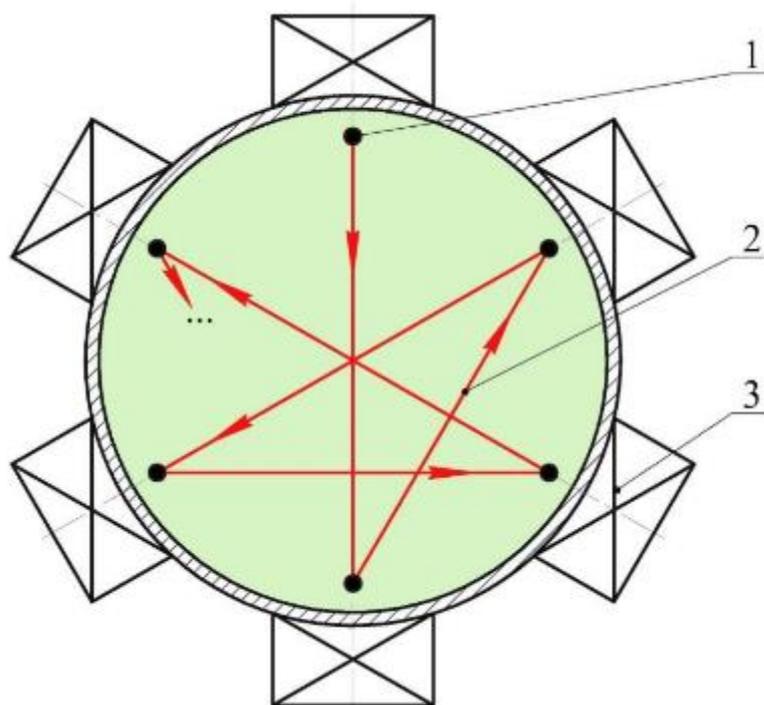


Рисунок 2.1 – Траєкторія руху робочих тіл у радіальній площині під дією електромагнітного поля

Робочі тіла, що обертаються в радіальній площині навколо повздовжньої осі активатора, захоплюють за собою стоки, змушуючи й рідину в робочій камері переходити до обертального руху.

Напір стоків на вході в активатор забезпечує їхнє переміщення в повздовжньому напрямку, при цьому потік рідини додатково захоплює робочі тіла і зміщує їх уздовж осі.

Під дією сукупності сил, обумовлених електромагнітним полем, центробіжними ефектами, потоком стоків та іншими чинниками, робочі тіла здійснюють складний обертально-поступальний рух уздовж повздовжньої осі активатора.

Результуюча сила, що діє на робочі тіла вздовж повздовжньої осі (як різниця між силою потоку стоків і утримувальною дією електромагнітного поля), не завжди забезпечує рівномірний розподіл робочих тіл по довжині робочої зони. Унаслідок цього робочі тіла зміщуються до вихідного торця активатора, а частина з них разом із потоком стоків виноситься за межі робочої зони в післяробочу зону. Схематично таку ситуацію подано на рисунку 2.2.

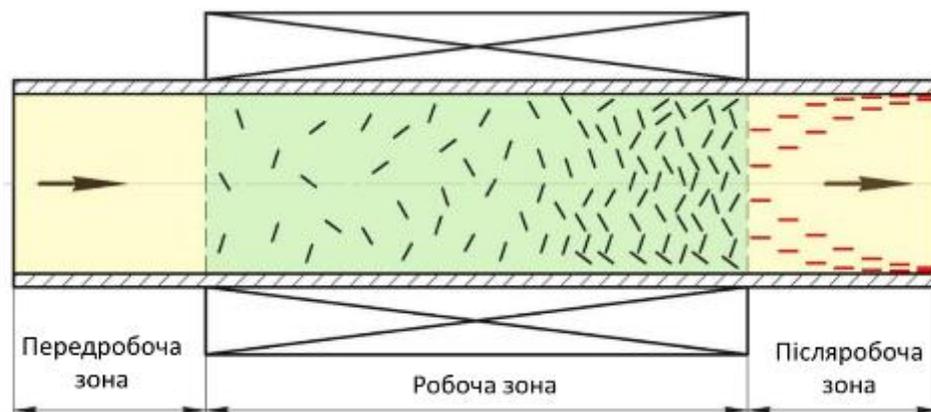


Рисунок 2.2 – Схема розподілу стрижнів в активаторі

Таке винесення робочих тіл призводить, по-перше, до нерівномірного заповнення робочої зони, а по-друге, до поступового зменшення їхньої кількості в області активної дії поля. Обидва чинники знижують ефективність процесу знезараження, а вихід робочих тіл за межі активатора є технологічно неприпустимим.

На підставі аналізу динаміки переміщення робочих тіл і стоків у робочій зоні активатора можна сформулювати такі висновки:

– нерівномірне заповнення робочої зони робочими тілами суттєво погіршує ефективність знезараження, а винос робочих тіл за межі активатора не допускається;

– для усунення виявлених недоліків необхідно поглиблено дослідити динаміку переміщення робочих тіл в активаторі та розробити спосіб забезпечення рівномірного заповнення робочої зони й запобігання винесенню робочих тіл у післяробочу зону.

2.2 Дослідження процесу переміщення робочих тіл у кінцевій зоні

Вихровий потік стоків, сформований у робочій зоні активатора та частково насичений робочими тілами, під дією повздовжнього напору переходить до післяробочої зони. У цій зоні електромагнітне поле вже не діє, проте обертальний рух рідини та її поступальне переміщення разом із робочими тілами зберігаються.

Під час теоретичного аналізу динаміки руху стоків і робочих тіл у післяробочій зоні активатора доцільно розглядати єдину систему «активатор – потік стоків – робочі тіла». При цьому робоче тіло розглядається як тверда частинка з певною масою та геометричними розмірами, а стоки – як стаціонарний потік ідеальної, нестисливої рідини без внутрішнього тертя. Загальні закономірності руху частинок у центробіжних полях описуються в класичних механічних моделях.

Система відліку задається тілом відліку, системою координат, жорстко з нею пов'язаною, та шкалою часу. У нашому випадку тілом відліку є активатор, до якого прив'язують декартову тривимірну систему координат. При цьому вважається, що простір є однорідним та ізотропним.

Однорідність означає, що в усіх точках простору діють однакові фізичні закони, тож початок координат можна розмістити в будь-якій зручній точці без

зміни фізичної суті задачі. Ізотропність передбачає, що всі напрямки, які виходять із цієї точки, рівноправні за своїми фізичними властивостями.

Рух матеріальної точки M розглядається відносно нерухомої прямокутної декартової системи координат $Oxyz$. За початок координат обирають точку на перетині радіальної площини, проведеної через початок післяробочої зони, і центральної повздовжньої осі активатора.

При цьому:

- вісь X лежить у радіальній площині, проведеної через початок післяробочої зони, і спрямована вертикально вгору;
- вісь Y розташована в цій самій площині та спрямована горизонтально;
- вісь Z збігається з центральною повздовжньою віссю післяробочої зони активатора та спрямована вздовж напрямку руху потоку.

На тверду частинку, що рухається у вихровому потоці рідини, діють такі основні сили: – сила тиску потоку; – сила тяжіння; – відцентрова сила; – виштовхувальна сила Архімеда.

Схематичне зображення дії цих сил на частинку в післяробочій зоні активатора наведено на рисунку 2.3.

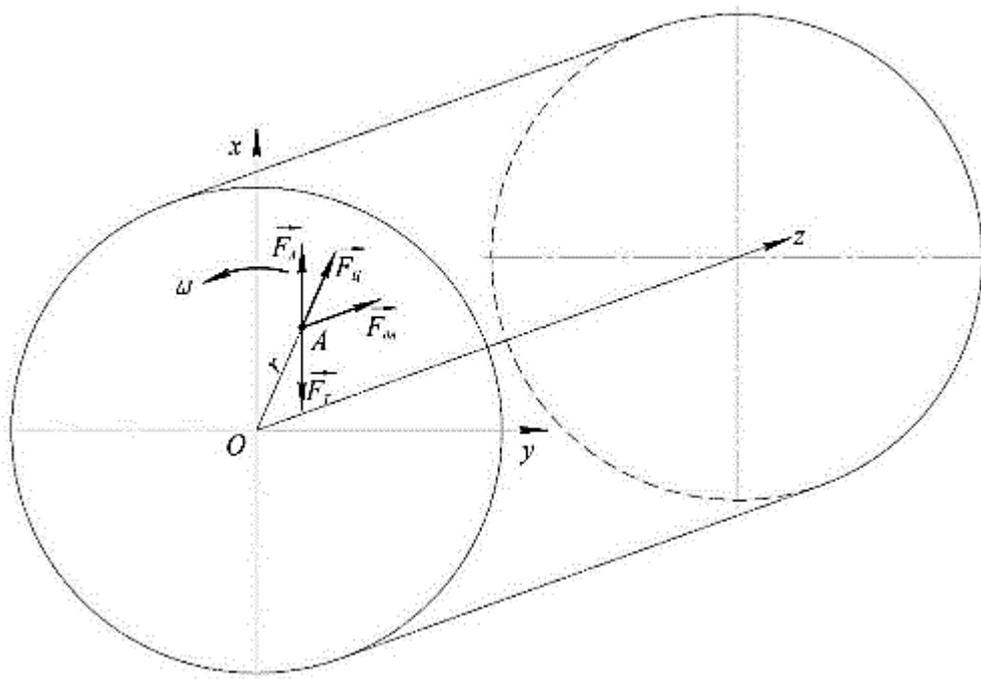


Рисунок 2.3 – Схема сил, що діють на частинку в післяробочій зоні

Сила тяжіння, прикладена до частинки масою m_q , напрямлена вертикально донизу і чисельно дорівнює

$$F_m = m_q \cdot g \quad (2.1)$$

де g – прискорення вільного падіння.

Унаслідок обертального руху частинки навколо поздовжньої осі постробочої зони з кутовою швидкістю ω виникає відцентрова сила

$$F_g = m_q \cdot \omega^2 \cdot R \quad (2.2)$$

де R – радіус траєкторії (відстань від частинки до осі обертання).

Кутова швидкість пов'язана з періодом одного оберту T співвідношенням

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.3)$$

Якщо частинка повністю занурена в рідину густини ρ , на неї діє виштовхувальна сила Архімеда, спрямована вертикально вгору:

$$F_A = \rho_q \cdot g \cdot V_q \quad (2.4)$$

де V_q – об'єм частинки.

Беручи до уваги, що маса витісненої рідини,

$$m_q = \rho \cdot V_q \quad (2.5)$$

вираз для сили Архімеда можна записати у вигляді

$$F_A = m_q \cdot g \quad (2.6)$$

Для виведення диференціальних рівнянь руху використовується принцип Даламбера. Сумарна проєкція активних сил та сил реакції опор, доповнена силою інерції, утворює урівноважену систему:

$$\vec{F} + \vec{N} - m_q \vec{a} = 0 \quad (2.7)$$

де F – рівнодійна всіх активних сил,

N – рівнодійна реактивних сил,

a – вектор прискорення частинки.

Розклавши сили за осями x , y , z та врахувавши складові $F_{дп}$, F_m , $F_{ц}$, F_A , отримуємо систему:

$$\begin{cases} m_q \ddot{x} = F_{дп,x} + F_{m,x} + F_{\epsilon,x} + F_{A,x}, \\ m_q \ddot{y} = F_{дп,y} + F_{m,y} + F_{\epsilon,y} + F_{A,y}, \\ m_q \ddot{z} = F_{дп,z} + F_{m,z} + F_{\epsilon,z} + F_{A,z} \end{cases} \quad (2.8)$$

Після підстановки виразів для сил з урахуванням геометрії задачі та напрямків дії їх проєкцій система спрощується до виду

$$\begin{cases} m_q \ddot{z} = 0, \\ m_q \ddot{y} = m_q r \omega^2, \\ m_q \ddot{x} = -m_q g + m_q r \omega^2 + m_q g \end{cases} \quad (2.9)$$

де r – поточна відстань частинки від осі обертання.

Перша рівність відображає відсутність сил уздовж осі z , окрім напору потоку, який далі вводиться через граничні умови.

У загальному вигляді диференціальні рівняння у проєкціях на осі системи координат можна записати як

$$\begin{cases} m_q \ddot{x} = \sum F_{i,x}, \\ m_q \ddot{y} = \sum F_{i,y}, \\ m_q \ddot{z} = \sum F_{i,z} \end{cases} \quad (2.10)$$

де x, y, z – проєкції прискорення частинки, а $\sum F_{i,x}, \sum F_{i,y}, \sum F_{i,z}$ – відповідні алгебраїчні суми проєкцій сил.

Розв'язання рівнянь за осями

Рух уздовж осі x аналізується для двох граничних положень частинки в початковому перерізі постробочої зони:

1. частинка знаходиться на циліндричній поверхні (подальший рух у напрямку x неможливий);
2. частинка розташована на осі обертання, $x=0$ (найгірший випадок з точки зору віддалення від робочої зони).

Для другого випадку диференціальне рівняння по координаті x після перетворень набуває вигляду

$$\ddot{x} - \left(1 - \frac{m_q}{m_c}\right) \omega^2 x = - \left(1 - \frac{m_q}{m_c}\right) g \quad (2.11)$$

що є рівнянням з постійними коефіцієнтами. Його розв'язок з урахуванням початкових умов

$$x(t) = \frac{\left(1 - \frac{m_q}{m_c}\right) g}{\omega^2} [\cosh(\omega t) - 1] \quad (2.12)$$

де $\cosh(\cdot)$ – гіперболічний косинус.

Цей вираз описує переміщення частинки від осі обертання до циліндричної поверхні постробочої зони під дією сукупності сил тяжіння, Архімеда та відцентрової сили.

Переміщення вздовж осі z визначається переважно швидкістю потоку стоків у постробочій зоні. Після дворазового інтегрування з початкових умов

Об'єднавши вирази для $x(t)$ та $z(t)$, одержуємо параметричну систему, що описує траєкторію руху частинки в площині xz

$$\begin{cases} x(t) = \frac{\left(1 - \frac{m_{жс}}{m_ч}\right) g}{\omega^2} [\cosh(\omega t) - 1], \\ z = V_{пот} t \end{cases} \quad (2.13)$$

Ця система використовується для обґрунтування параметрів вікна забору робочих тіл у постробочій зоні активатора: за вибраних значень g , ω , $m_ч$, $m_ж$, $V_{пот}$, та часу руху t розраховується фактична траєкторія частинки. На основі теоретичного розрахунку будується зона можливого переміщення частинок та визначаються координати, які забезпечують гарантоване їх повернення в робочу зону. Це, своєю чергою, дозволяє вибрати раціональні розміри і положення вікна забору робочих тіл та підвищити ефективність роботи активатора при знезараженні стоків.

Теоретичний розрахунок траєкторії руху частинки в постробочій зоні активатора за отриманою системою диференціальних рівнянь проводимо за таких вихідних умов.

Умови розрахунку:

прискорення вільного падіння $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

кутова швидкість обертання потоку $\omega = 150 \text{ рад/с}$;

маса витісненої рідини $m_p = 1,0 \text{ кг}$;

маса частинки (робочого тіла) $m_ч = 7,8 \text{ кг}$;

повздовжня швидкість потоку в активаторі $V = 0,144$ м/с;

час t , протягом якого частинка, що знаходиться на максимальній відстані від поверхні робочої зони активатора, переміщується від центральної повздовжньої осі до циліндричної поверхні, визначається за формулою (2.12).

Додатково задано:

об'ємна витрата потоку через активатор становила 8 м³/год;

як частинку розглядалося робоче тіло діаметром 2 мм і довжиною 30 мм.

Отримана система (2.13), яка описує траєкторію руху частинок у постробочій зоні активатора в координатах x та z .

На основі аналізу розрахункових даних та результатів теоретичних досліджень побудовано траєкторію руху частинки в постробочій зоні активатора; зона можливого переміщення в площині xOz подана на рисунку 2.4.

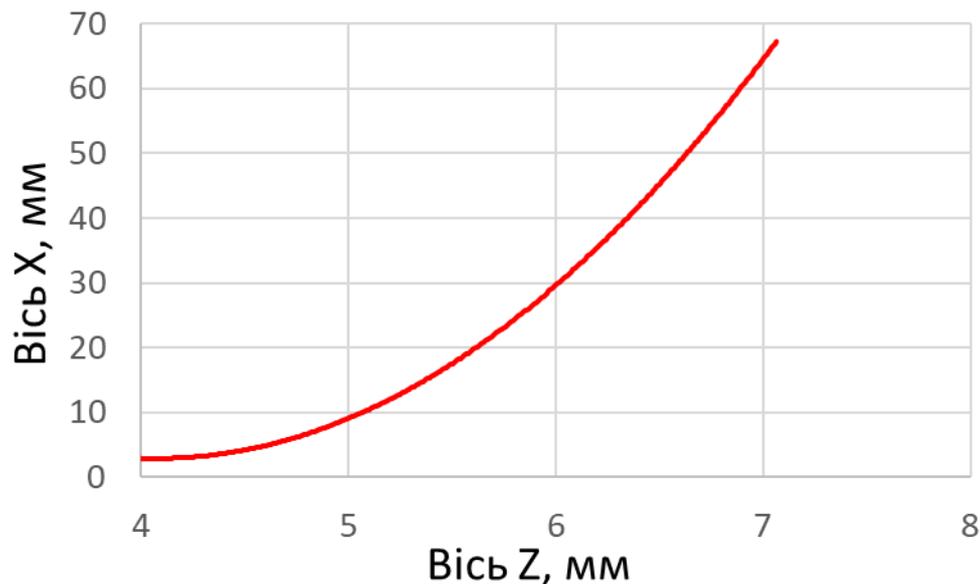


Рисунок 2.4 – Траєкторія переміщення частинки в постробочій зоні активатора

Узагальнюючи результати теоретичного дослідження динаміки процесу переміщення робочих тіл у активаторі, можна зробити такі висновки:

- частина робочих тіл, винесена потоком рідини з робочої до постробочої зони активатора, продовжує здійснювати обертально-поступальний рух;

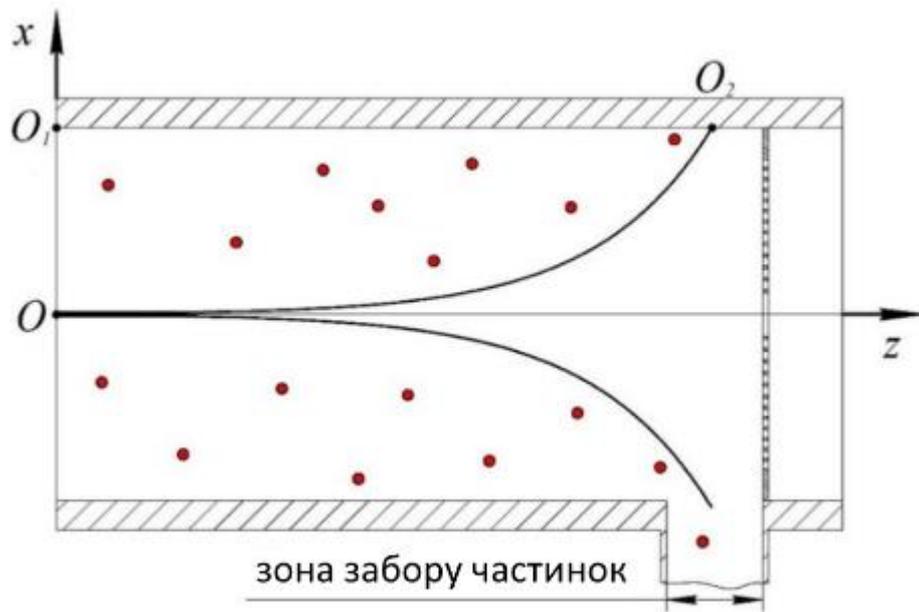


Рисунок 2.5 – Схема траєкторії руху частинки в постробочій зоні активатора

- траєкторія руху робочих тіл у постробочій зоні описується системою диференціальних рівнянь (2.13) і має вигляд, поданий на рисунках 2.5 та 2.6;
- одержані теоретичні залежності дають змогу визначити положення та розміри забірної вікна в постробочій зоні активатора і обґрунтувати технічні рішення, спрямовані на підвищення ефективності його роботи при незараженні стоків.

2.3 Експериментальна перевірка результатів теоретичних розрахунків

Для перевірки достовірності теоретичних залежностей, отриманих під час дослідження динаміки переміщення робочих тіл в активаторі, необхідно було зіставити момент дотику робочого тіла до циліндричної поверхні постробочої зони, розрахований за аналітичним виразом (2.13), з фактичними даними, отриманими під час дослідної експлуатації. Загальний вигляд експериментального стенда та схема його будови наведені на рисунках 2.6 і 2.7.



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд стенда для оцінки достовірності результатів теоретичного дослідження

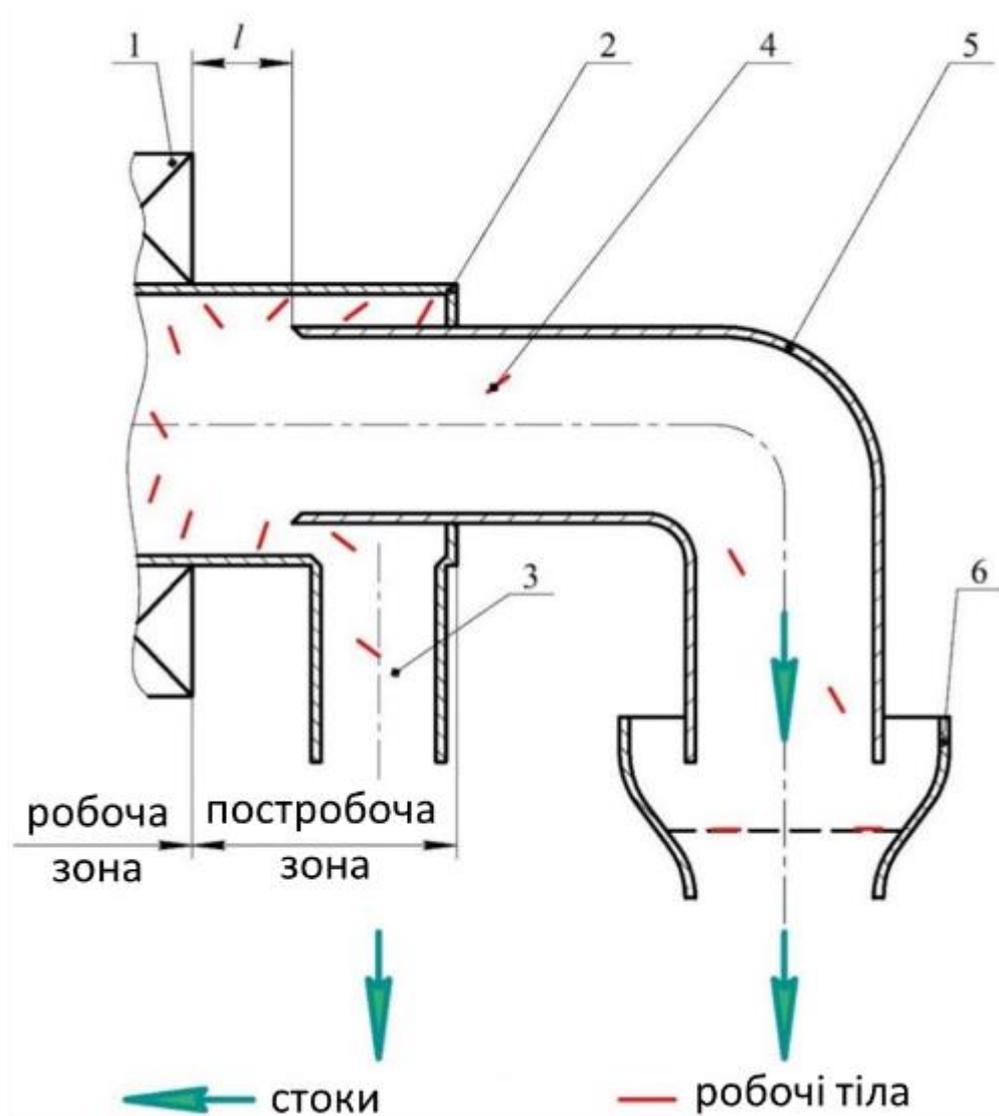


Рисунок 2.7 – Схема стенда для оцінки достовірності результатів теоретичного дослідження

Стенд складається з активатора 1 з відвідною трубою 2, у стінці якої виконано отвір для відведення робочих тіл 3. До торця відвідного циліндра приєднана проміжна труба 5, що може переміщуватися вздовж осі, і призначена для відведення основного потоку стоків та робочих тіл, які вийшли за межі робочої зони. На виході цієї труби встановлено сепаратор 6 для виділення робочих тіл із потоку.

Під час знезараження стоків у активаторі робочі тіла 4 обертаються навколо його поздовжньої осі. Потік стоків, рухаючись уздовж осі активатора, виносить невелику частину робочих тіл у постробочу зону. Під дією комплексу сил ці тіла зміщуються від осі обертання до периферії. Та частина робочих тіл, яка досягла стінки відвідної труби 3, ковзає вздовж неї і через отвір 3 видаляється з постробочої зони. Інша частина потрапляє в проміжну трубу 5, а далі – на сепаратор 6, де відбувається їх відокремлення від стоку.

Поздовжнє переміщення труби 5 відносно активатора дозволяє змінювати положення зони відбору робочих тіл (забірне вікно) відносно вихідного торця робочої зони. Через отвори в стінці проміжної труби 5 робочі тіла надходять у окремі приймальні ємності, у яких проводиться підрахунок їх кількості. Зсув труби вздовж осі активатора дає можливість наближати або віддаляти забірне вікно від кінця робочої зони, фіксуючи зміну кількості робочих тіл, що потрапляють у кожну ємність. Загальна технологічна схема роботи активатора під час експлуатаційної перевірки наведена на рисунку 2.8.

За усталеного режиму роботи активатора шляхом варіювання відстані l добивалися такого положення проміжної труби, за якого припинялося надходження робочих тіл 4 у трубу 5. Це означає, що всі робочі тіла, винесені в постробочу зону, встигли досягти циліндричної поверхні в районі вхідного отвору другої відвідної труби. Після цього фіксували значення відстані l .

Експеримент проводили за таких умов:

частота обертання робочих тіл у радіальній площині активатора – 3000 об/хв;

робочі тіла зі співвідношенням довжини до діаметра $l/d=15$ (діаметр 2 мм, довжина 30 мм);

осьова швидкість потоку – 0,144 м/с, що відповідає продуктивності $Q=8$ м³/год.

За результатами досліджень встановлено, що надходження робочих тіл у сепаратор б припиняється при відстані $l_{eks}=7$ мм. Це свідчить про те, що до цього моменту всі робочі тіла досягли циліндричної поверхні постробочої зони активатора.

На рисунку 2.8 наведено порівняння теоретично розрахованого переміщення частинки вздовж осей



Рисунок 2.8 – Порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень

Теоретичне значення відстані $l_{teor}=7$ мм дещо відрізняється від експериментального $l_{eks}=5,5$ мм. Установлене розходження пояснюється впливом факторів, які не були враховані в теоретичній моделі, зокрема опором рідини руху робочих тіл та можливими відхиленнями реальних умов потоку від прийнятих спрощень.

Як показав аналіз, виконаний у п. 1.3, а також результати теоретичних досліджень, робочі тіла істотно впливають на якість функціонування активатора

та перебіг процесів, що в ньому відбуваються. Проте під час роботи активатора з рідкими середовищами існує висока ймовірність винесення робочих тіл за межі робочої зони й потрапляння їх до готового продукту. Тому на основі проведених теоретичних досліджень були запропоновані технічні рішення, які дають змогу усунути цю проблему.

Для запобігання винесенню робочих тіл за межі активатора було розроблено спеціальний пристрій (матриця для утримання робочих тіл у робочій зоні). Його суть полягає в тому, що частинки (робочі тіла), які прагнуть вийти разом із потоком рідини, затримуються в матриці, що складається з металевої обичайки 1, яка «відбиває» робочі тіла назад у робочу зону активатора, де напруженість магнітного поля є більшою. Відбиття й утримання робочих тіл досягається завдяки їх ударам об сітку зі змінним перерізом (крупна 2 та більш дрібна 3), а також об металеву обичайку, які перешкоджають виходу частинок назовні.

Сутність цього технічного рішення ілюструється на рисунку 2.10 – матриця для запобігання винесенню робочих тіл потоком рідини.

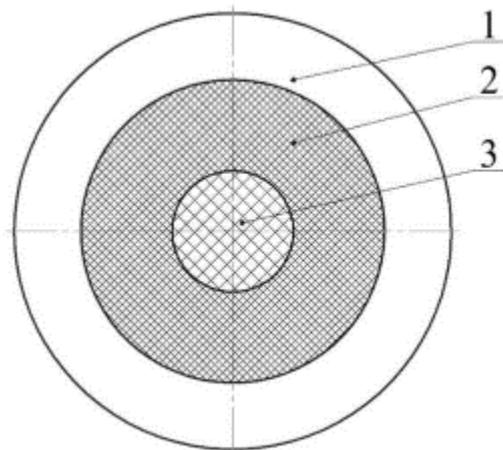


Рисунок 2.9 – Матриця для запобігання винесенню робочих тіл з потоком рідини

Для повернення робочих тіл у робочу зону активатора та забезпечення їх рівномірного розподілу в ній було розроблено ще один пристрій. Його принцип

дії полягає в наступному. Робочі тіла 3, які накопичилися біля циліндричної поверхні активатора в постробочій зоні, відбираються за допомогою заборника 4, що складається з приймального патрубку 5 та центробіжного транспортера 6. Параметри вхідного вікна цього транспортера обґрунтовані за результатами теоретичного дослідження динаміки переміщення частинки в постробочій зоні активатора (система рівнянь 2.13).

Технічний результат досягається завдяки тому, що під дією центробіжної сили робочі тіла відтискаються до периферії циліндричної поверхні активатора, де формується зона підвищеного тиску. Цей надлишковий тиск спрямовує частинки, що вийшли за межі робочої зони 2, у заборник, а далі – у центробіжний транспортер, який подає їх до входу в робочу зону, тобто в передробочу зону 1.

Сутність запропонованого технічного рішення показано на рисунках 2.10 і 2.11.

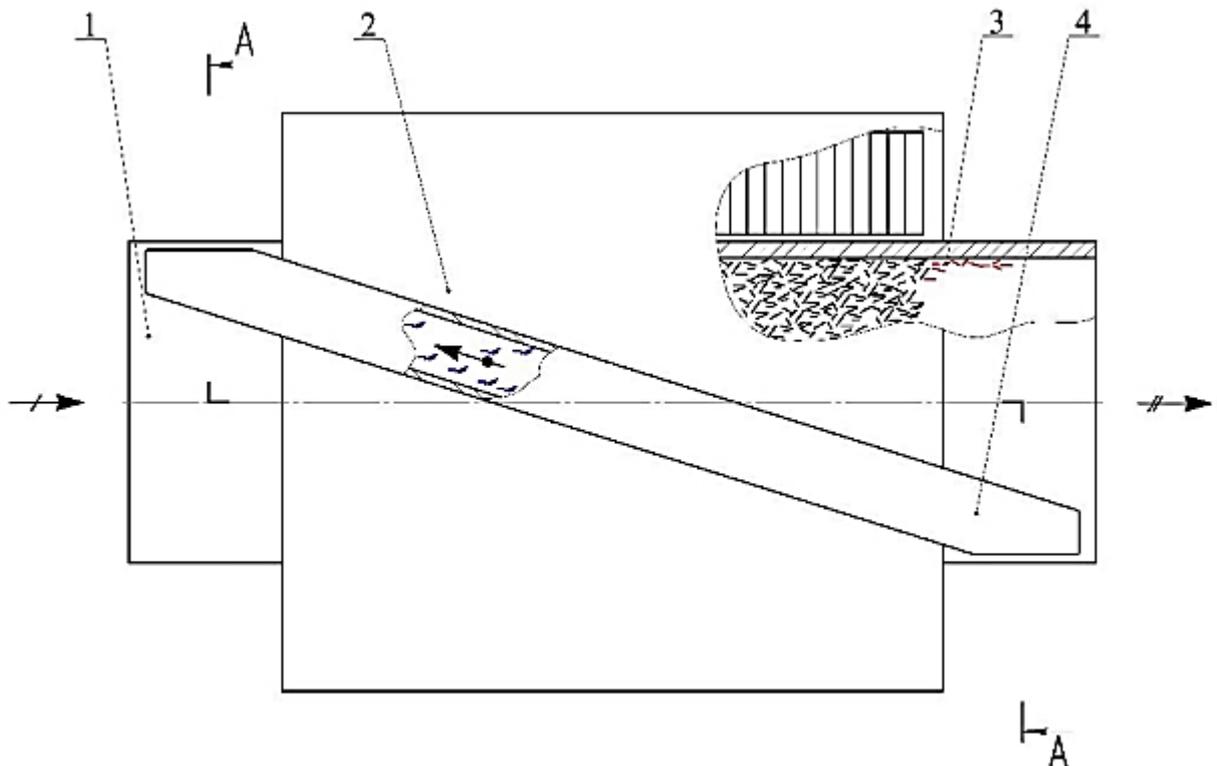


Рисунок 2.11 – Активатор із замкнутим переміщенням робочих тіл

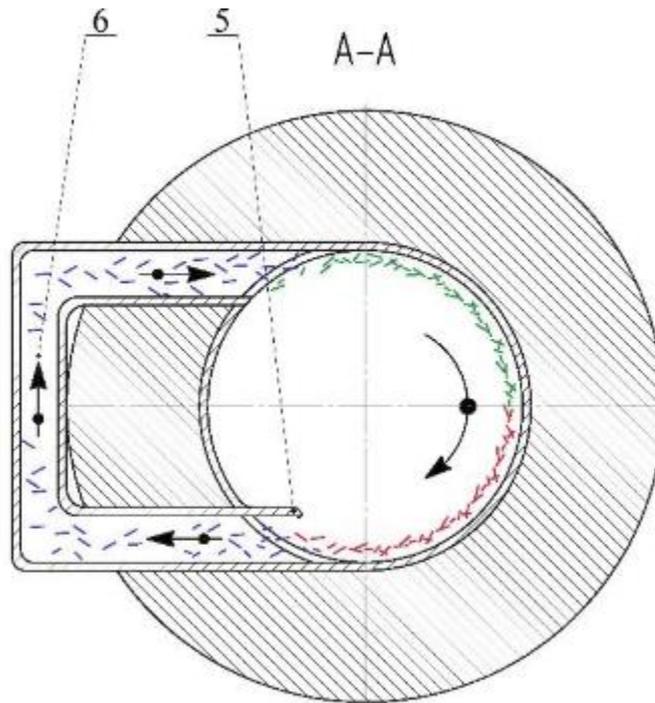


Рисунок 2.12 – Активатор із замкнутим переміщенням робочих тіл

На схемах:

- червоним кольором позначені робочі тіла, що вийшли в постробочу зону активатора;
- синім – ті, що потрапили в забірник і перебувають у відцентровому транспортері;
- зеленим – робочі тіла, повернуті в передробочу зону.

Розроблені технічні рішення забезпечують, по-перше, повне виключення винесення робочих тіл за межі активатора, а по-друге, рівномірне заповнення робочої зони робочими тілами, що безпосередньо підвищує ефективність його функціонування під час роботи з рідкими середовищами.

2.4 Висновки

На підставі проведених теоретичних і експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

Встановлено, що нерівномірне заповнення робочої зони активатора робочими тілами призводить до істотного зниження ефективності знезараження стоків і загальної ефективності роботи активатора. Винесення робочих тіл за межі активатора є недопустимим, оскільки погіршує санітарні показники готового продукту та ускладнює подальшу експлуатацію системи.

На основі аналізу динаміки переміщення робочих тіл в обертовому потоці рідини отримано систему рівнянь (2.13), яка описує траєкторії руху частинок у постробочій зоні активатора. Ця система дозволяє обґрунтовано вибрати оптимальне розташування та розміри вікна для відбору робочих тіл із постробочої зони.

Порівняння розрахункового значення відстані $l_{\text{теор}} = 7$ мм, отриманого за результатами теоретичних досліджень, з експериментальним значенням $l_{\text{екс}} = 5,5$ мм показало наявність певного розходження. Відмінність пояснюється впливом факторів, не врахованих у спрощеній теоретичній моделі, зокрема опором рідини руху робочих тіл, можливими неоднорідностями потоку та конструктивними допусками.

Розроблені на основі теоретичних досліджень технічні рішення (матриця утримання робочих тіл у робочій зоні та система їх повернення з постробочої зони) забезпечують виключення винесення робочих тіл за межі активатора й рівномірне заповнення робочої зони. Це дозволяє підвищити ефективність функціонування активатора при роботі з рідкими стоками, забезпечити стабільний рівень знезараження та знизити ризики потрапляння робочих тіл у готовий продукт.

3 Експериментальні дослідження активатора

3.1 Методика досліджень

Експериментальні дослідження проводилися на активаторі (рисунок 3.1), принципова схема якого подана на рисунку 3.2.

Активатор являє собою індуктор, що створює обертове змінне магнітне поле. Він складається з корпусу 1, усередині якого розміщений циліндричний сердечник 2 з феромагнітного матеріалу з трьома електрообмотками, зсунутих одна відносно одної на кут 120° . У осьовий отвір сердечника вставлено втулку 3 з парамагнітного матеріалу. Порожнина всередині втулки є робочою камерою, у якій обертаються феромагнітні стрижні 4 і відбувається безпосередній вплив на стічну рідину.

Окрім показників за призначенням, якість роботи активатора характеризується параметрами створюваного ним магнітного поля та енергетичними витратами. Магнітне поле описується інтенсивністю, напрямком і ступенем однорідності. Для кількісної оцінки інтенсивності використовують такі величини, як магнітний потік, напруженість та магнітна індукція. Найбільш інформативною є магнітна індукція \mathbf{b} – векторна величина в теслах, що відображає силові властивості поля в даній точці простору.

Модуль індукції змінного магнітного поля може характеризуватися миттєвим, піковим (амплітудним), середнім, середньоквадратичним і середньовипрямленим значеннями. Для оцінки роботи активатора найважливішим є саме середньовипрямлене значення. Показано, що на енергетичну ефективність функціонування впливають передусім середньовипрямлені значення радіальної складової індукції b_{mr} та осьової складової b_{mo} .

Енергетичні витрати активатора описуються активною, реактивною та повною потужністю.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд експериментального стенда: 1 – активатор; 2 – система охолодження; 3 – контейнер; 4 – універсальне джерело живлення

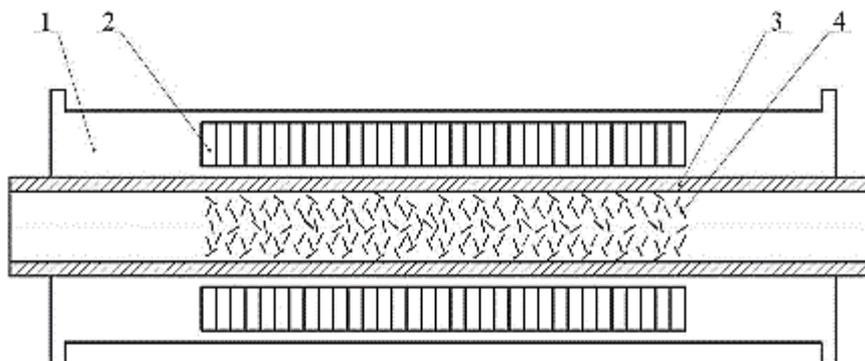


Рисунок 3.2 – Схема активатора

Активна потужність p в колі активатора – це середнє за період значення миттєвої потужності, що характеризує перетворення електричної енергії в інші види енергії (механічну, теплову тощо). Вона визначається за виразом (3.1):

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (3.1)$$

де U – діюче (середньоквадратичне) значення напруги, В;

I – діюче значення струму, А;

$\cos \varphi$ – косинус кута зсуву фаз між напругою та струмом.

Реактивна потужність Q в колі активатора характеризує періодичний обмін енергією між електричним та магнітним полями в елементах змінного струму.

Для синусоїдального режиму вона обчислюється як

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (3.2)$$

де $\sin \varphi$ – синус кута зсуву фаз між напругою та струмом.

Повна потужність S в колі активатора дорівнює добутку діючих значень напруги та струму:

Для синусоїдальних напруг і струмів повна потужність пов'язана з активною та реактивною співвідношенням

$$S = U \cdot I \quad (3.3)$$

що дозволяє кількісно оцінити як корисну складову енергоспоживання (P), так і «коливальну» складову, пов'язану з реактивними процесами (Q).

Як було зазначено в п. 1.3, знезараження стоків тваринницьких підприємств є складним процесом, який характеризується низкою параметрів і залежить від багатьох одночасно діючих факторів. Для вивчення цих взаємозв'язків доцільно побудувати кібернетичну модель системи виду: фактори – умови – об'єкт дослідження – параметри.

Якість знезараження визначається ступенем патогенності стоків та енергією, витраченою на його досягнення.

Санітарно-бактеріологічний стан стоків у процесі дослідження оцінювали за залишковою кількістю колонієутворюючих одиниць загальних колиформних бактерій (кое окб), які прийнято як типовий індикатор мікробного забруднення стоків тваринницьких підприємств.

Загальна електрична енергія, яку споживає активатор під час знезараження, складається з двох основних частин:

активної складової, що витрачається на створення електромагнітного поля та переміщення робочих тіл у робочій зоні активатора;

реактивної складової, пов'язаної передусім з нагріванням електротехнічних елементів.

Оскільки реактивна складова не визначає корисний технологічний ефект, для оцінки енергоємності активатора доцільно враховувати лише активну частину електричної енергії. Енергетичну ефективність роботи активатора характеризували витратами електроенергії на отримання одиниці готової продукції, тобто питомою енергоємністю. У якості одиниці готової продукції доцільно розглядати об'єм оброблених стоків. Відповідно, при оцінюванні витрат енергії в активаторі розглядали активну складову питомої енергоємності, віднесену до одиниці об'єму знезаражених стоків.

На основі аналізу, виконаного в п. 1.3, як основні фактори, що можуть істотно впливати на процес знезараження стоків у активаторі, прийнято:

x_1 – заповненість робочої зони активатора стрижнями ρ , %;

x_2 – відношення довжини стрижнів до їх діаметра l/d ;

x_3 – магнітна індукція b у робочій зоні, Тл.

Область варіювання фактора x_1 (заповненість робочої зони активатора стрижнями, %) обрана за результатами попередніх досліджень і аналізу літератури та становила 0,74...5,18 %.

Діапазон зміни фактора x_2 (відношення довжини стрижнів до їх діаметра l/d) встановлено згідно з рекомендаціями щодо вибору геометрії робочих тіл і прийнято в межах 5...25. На рисунку 3.3 наведені типорозміри робочих тіл, що застосовувались в активаторі.

Область варіювання фактора x_3 (магнітна індукція в робочій зоні активатора) також обрали за результатами попередніх досліджень та аналізу джерел і встановили в межах 40...80 мТл.

Для проведення лабораторних експериментів з активатором знезараження стоків було прийнято рішення використовувати модельну рідину, яка за

основними властивостями відповідає реальному об'єкту. Методика одержання модельної рідини полягала у створенні гнойової суспензії, насиченої патогенними та умовно-патогенними мікроорганізмами, характерними для реальних стоків.



Рисунок 3.3 – Типорозміри робочих тіл, використаних в активаторі

Контроль якості модельної рідини здійснювали експрес-методом прямої мікроскопії – за наявності біологічної активності патогенних та умовно-патогенних форм. Далі, шляхом бродіння та висіву проб на поживне середовище ендо виконували підрахунок вирослих КУО (рисунок 3.3 а) і таким чином встановлювали кількість КУО до комплексного фізико-хімічного впливу в активаторі та після нього.

Вимірювання чисельного значення залишкової кількості колонієутворюючих одиниць здійснювали методом бродіння, тобто прямим висівом проби на поживне середовище Ендо за стандартною мікробіологічною методикою. На рисунку 3.4 показано зразки з КУО до та після обробки в активаторі.

Залишкову кількість КУО визначали за формулою:

$$X_{\text{КУО}} = a \cdot \frac{V_k}{V} \quad (3.4)$$

a – сумарна кількість колоній (КУО), що виросли на чашці, шт;

V_k – контрольний об'єм, мм³;

V – фактичний об'єм досліджуваної проби, мм³.

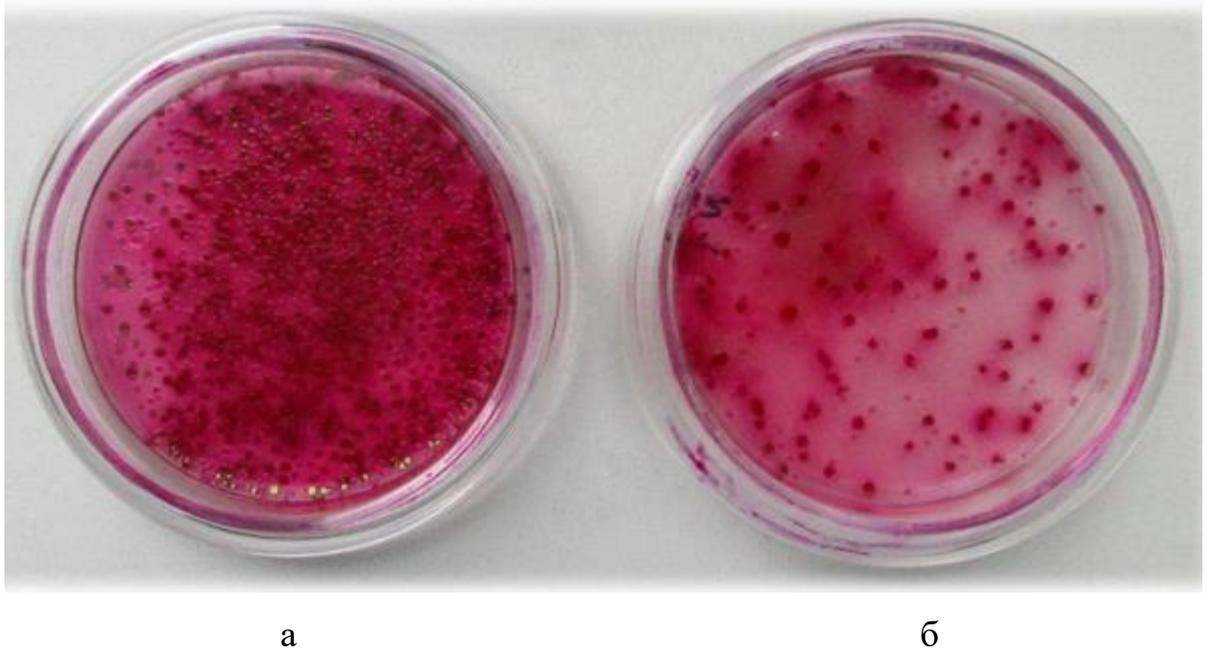


Рисунок 3.4 – Проба КУО до (а) та після (б) впливу

Тобто $X_{\text{КУО}}$ отримують шляхом перерахунку загальної кількості колоній а на стандартний контрольний об'єм V_k з урахуванням реального об'єму відібраної проби V .

3.2 Результати експериментальних досліджень

Після визначення оцінок коефіцієнтів, їхніх статистичних характеристик і вилучення з рівнянь членів з статистично незначущими коефіцієнтами, рівняння регресії набули вигляду.

Для питомої енергоємності:

$$y_N = 5,59 - 2,14x_1 - 0,44x_2 + 2,24x_3 + 1,52x_1^2 + 0,04x_3^2 \quad (3.5)$$

Для КУО:

$$y_{\text{КУО}} = 71,72 - 9,13x_1 + 1,32x_2 - 20,15x_3 + 5,81x_2^2 + 4,31x_3^2 \quad (3.6)$$

Перевірка отриманих рівнянь на адекватність за F-критерієм показала, що за обраного рівня значущості $\alpha = 0,05$ та відповідних ступенів свободи $f_{\text{ад}}$ і $f_{\text{е}}$ розрахункові значення F_p виявилися меншими за критичне значення F_k . Отже, гіпотеза про адекватність рівнянь є справедливою.

Після підстановки перехідних коефіцієнтів і виконання перетворень рівняння регресії набули такого вигляду:

Для питомої енергоємності:

$$N = 4,81 - 2,78\rho + 0,4l/d + 2,24B + 0,38\rho^2 - 0,014l/d^2 \quad (3.7)$$

Для КУО:

$$K_{\text{УО}} = 244,8 - 4,11\rho - 3,48l/d - 0,408B + 0,058l/d^2 + 0,011B^2 \quad (3.8)$$

Аналіз результатів експериментів, розрахунків, рівнянь та графічних залежностей показав таке.

Вплив факторів на питому енергоємність. При дослідженні впливу факторів у заданій області варіювання на питому енергоємність встановлено:

Заповненість робочої зони активатора ферромагнітними стрижнями ρ р істотно впливає на питому енергоємність. На це вказує наявність значущих коефіцієнтів при x_1 у рівнянні (3.5) та при ρ у рівнянні (3.7).

При збільшенні ρ питома енергоємність зменшується за квадратичною залежністю, що підтверджується значущою оцінкою коефіцієнта при x_1^2 у (3.5) та при ρ^2 у (3.7).

Відношення довжини стрижнів до їх діаметра l/d також суттєво впливає на питому енергоємність. Про це свідчать значущі коефіцієнти при x_2 у (3.5) та при l/d у (3.7).

З ростом l/d значення питомої енергоємності зменшується за квадратичною закономірністю, що вказує на значущу оцінку коефіцієнта при x_2^2 у (3.5) та при $(l/d)^2$ у (3.7).

Магнітна індукція B істотно впливає на питому енергоємність, про що свідчать коефіцієнти при x^3 у (3.5) та при B у (3.7).

При збільшенні B питома енергоємність зростає переважно за лінійною залежністю, оскільки коефіцієнт при x_3^2 у (3.5) та B^2 у (3.7) виявився статистично незначущим.

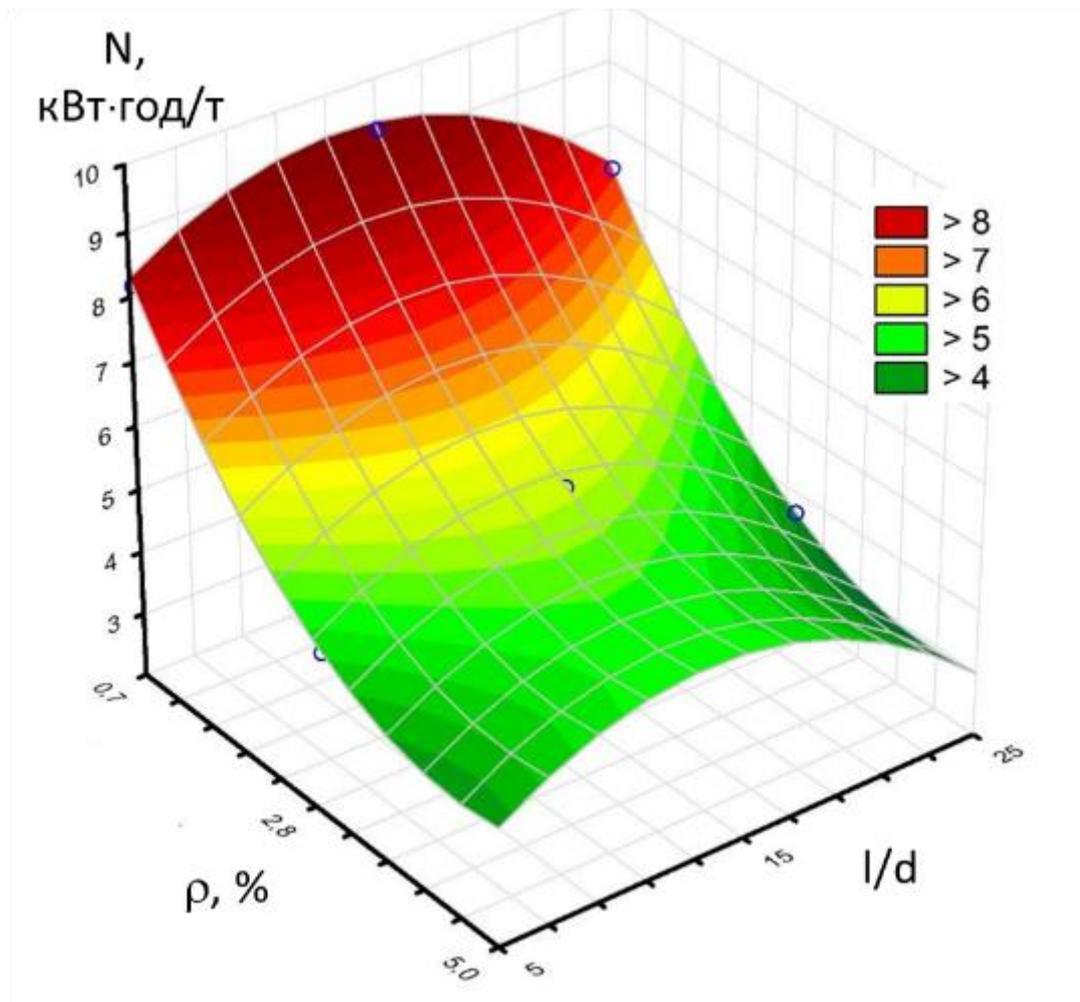


Рисунок 3.5 – Залежність питомої енергоємності від факторів, пов'язаних із робочими тілами (ρ та l/d)

Також встановлено, що всі оцінки коефіцієнтів парної взаємодії факторів для питомої енергоємності є статистично незначущими, тобто ефект взаємодії між факторами в цьому випадку практично відсутній.

За силою впливу на питому енергоємність фактори розподілились так (від більшого до меншого):

магнітна індукція B ;

заповненість робочої зони стрижнями ρ ;

співвідношення l/d .

Вплив факторів на число КУО у пробі. При аналізі впливу факторів на число КУО у пробі в області дослідження встановлено:

Статистично значущими виявились коефіцієнти усіх факторів, що підтверджується їх наявністю в рівняннях (3.6) і (3.8).

Заповненість робочої зони ρ істотно впливає на число КУО: при збільшенні ρ число КУО зменшується за лінійною залежністю, оскільки коефіцієнт при x_1^2 у (3.6) та ρ^2 у (3.8) є незначущим.

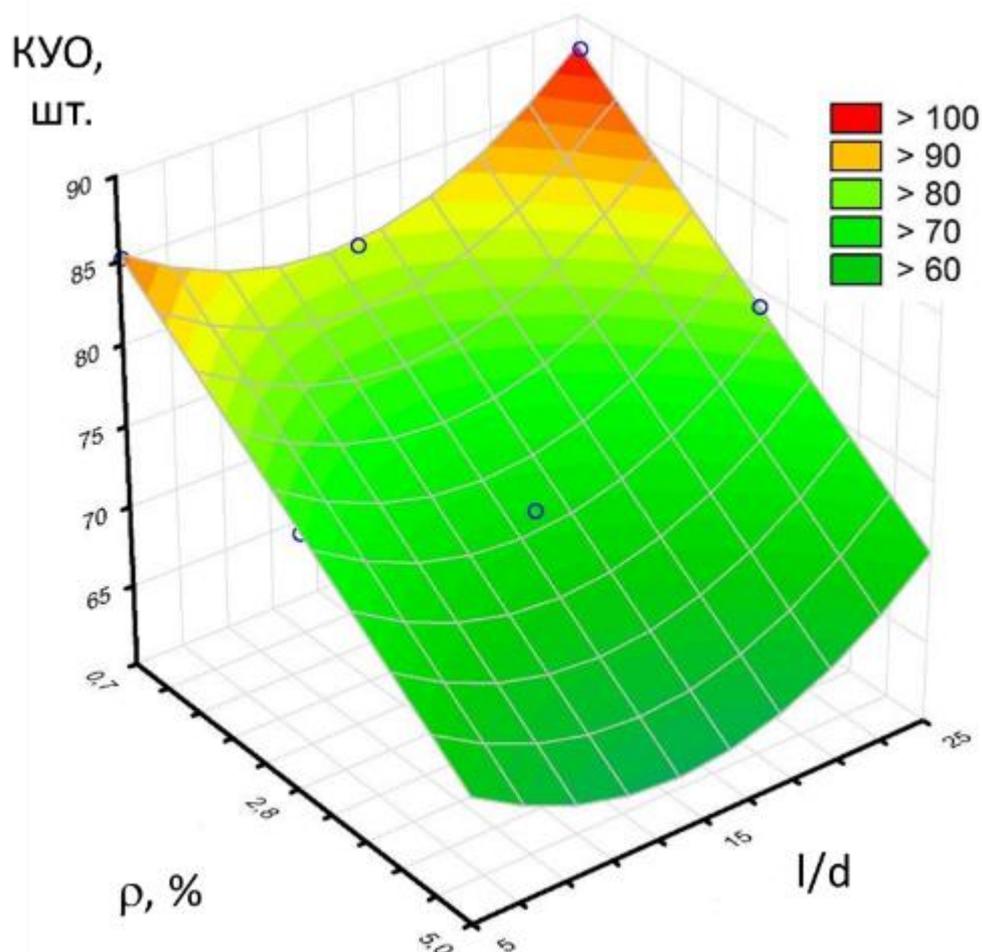


Рисунок 3.6 – Залежність числа КУО від факторів, пов'язаних з робочими тілами (ρ і l/d)

Відношення l/d значуще впливає на число КУО. При збільшенні l/d число кое окб зростає за квадратичною залежністю, на що вказує значуща оцінка коефіцієнта при x_2^2 у (3.61) та $(l/d)^2$ у (3.8).

Магнітна індукція b істотно впливає на число КУО. При збільшенні b число КУО зростає за квадратичною залежністю, що підтверджується значущістю коефіцієнта при x_3^2 у (3.6) та b^2 у (3.8).

Сила впливу факторів на число КУО (від найсуттєвішого до найменшого):

магнітна індукція B ;

заповненість робочої зони ρ ;

відношення l/d .

Аналіз результатів дослідів дав змогу:

кількісно оцінити вплив основних факторів на питому енергоємність активатора та число КУО;

сформувані гіпотези щодо фізичної сутності процесів, які відбуваються в активаторі при спільному фізико-хімічному впливі змінного магнітного поля та хімічного реагента на стоки тваринницьких підприємств.

3.3 Висновки

На підставі проведених досліджень отримано такі висновки:

– математичні моделі (3.7) і (3.8) у вигляді поліномів другого порядку адекватно описують залежність питомої енергоємності активатора знезараження та кількості КУО від його основних параметрів.

– оптимальні параметри активатора знезараження стоків тваринницьких підприємств мають такі значення:

$\rho = 5,18 \%$ (що відповідає масі робочих тіл 1400 г);

$l/d = 25$ (діаметр стрижня 2 мм, довжина 50 мм);

$B = 40$ мТл;

критерій оптимізації – питома енергоємність активатора – має значення $N = 3,09$ Вт·с/мм³, що:

на 65 % менше порівняно з режимом, коли використовуються робочі тіла з $l/d = 15$ ($d = 2$ мм, $l = 30$ мм) за заповненості $\rho = 2,96$ % (маса 800 г);

на 15 % менше порівняно з варіантом $l/d = 5$ ($d = 2$ мм, $l = 10$ мм) за заповненості $\rho = 0,74$ % (маса 200 г).

Гранично допустиме число КУО становить 100 шт.; розрахункове значення за оптимальних параметрів дорівнює 98 шт. Таким чином, використання знайдених оптимальних параметрів дає змогу суттєво знизити питому енергоємність активатора при забезпеченні нормативного рівня знезараження.

Отримані в даному розділі результати можуть бути використані як вихідна інформація для розроблення наукових основ методу розрахунку параметрів активатора знезараження.

4 Охорона праці

4.1 Загальні вимоги охорони праці при переробці гною

Процес переробки гною та рідких стоків тваринницьких підприємств супроводжується дією комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів на працівників. До них належать біологічні агенти, зокрема патогенні та умовно-патогенні мікроорганізми, яйця і личинки гельмінтів, мікроскопічні гриби, що містяться у гної та стічних водах, а також хімічні речовини – аміак, сірководень, вуглекислий газ, меркаптани, пари хлоровмісних реагентів, які застосовуються для знезараження. У виробничих приміщеннях мають місце фізичні фактори у вигляді підвищеної вологості, можливої підвищеної температури повітря, шуму від роботи технологічного обладнання, локальної вібрації, впливу рухомих частин машин і механізмів, а також потенційної небезпеки ураження електричним струмом. Додатково слід враховувати психофізіологічні фактори – значне фізичне навантаження, монотонність окремих операцій, роботу в умовах стійких неприємних запахів.

Організація технологічного процесу переробки гною і стоків повинна ґрунтуватися на дотриманні вимог чинного законодавства з охорони праці, правил безпечної експлуатації машин та обладнання, санітарних норм і правил гігієни праці. Для всіх категорій працівників, які обслуговують лінії переробки гною та активатор, мають бути розроблені та впроваджені інструкції з охорони праці. Працівники допускаються до роботи лише після проходження встановлених медичних оглядів, навчання та перевірки знань з питань охорони праці, інструктажів з техніки безпеки, пожежної безпеки та біобезпеки.

Важливим елементом профілактики виробничого травматизму і професійних захворювань є забезпечення працівників засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт. До таких засобів належать спецодяг, вологостійкі фартухи, гумове спецвзуття, захисні рукавиці, захисні окуляри або щиток при виконанні операцій зі стоками та хімічними реагентами, а за необхідності – респіратори або протигази для роботи в умовах підвищених

концентрацій шкідливих газів і парів. Приміщення, де розташовано обладнання для переробки гною, повинні бути обладнані ефективною припливно-витяжною вентиляцією для видалення аміаку, сірководню та інших газоподібних продуктів, а в місцях підвищеного газоутворення – локальними відсмоктувачами. Підлога в таких приміщеннях має бути виконана з неслизького матеріалу, із забезпеченням організованого відведення рідини у трапи та канавки.

З метою запобігання отруєнням та захворюванням слід систематично контролювати вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони, дотримуватись вимог особистої гігієни, забезпечити наявність умивальників, душових та інших санітарно-побутових приміщень, а також заборонити приймання їжі безпосередньо в зоні роботи зі стоками. Виробничі приміщення та обладнання мають регулярно очищуватися від забруднень і піддаватися дезінфекції. Особливої уваги потребує електробезпека: електрообладнання повинно відповідати категорії приміщення за ступенем вологості, мати справне заземлення, за можливості бути захищеним пристроями захисного відключення та системою зрівнювання потенціалів.

Таким чином, загальні вимоги охорони праці при переробці гною передбачають комплекс технічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на мінімізацію впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів на персонал.

4.2 Оцінка з точки зору охорони праці розробленого активатора

Розроблений активатор знезараження стоків тваринницьких підприємств є електротехнічним пристроєм, у якому технологічний процес здійснюється за рахунок дії обертового змінного електромагнітного поля на ферромагнітні робочі тіла, занурені в потік рідких стоків з додаванням хлоровмісного реагента. З точки зору охорони праці це обладнання характеризується специфічним поєднанням електричної, хімічної, біологічної та теплової небезпеки, які необхідно враховувати при проектуванні, монтажі й експлуатації.

Основними потенційними небезпечними факторами під час роботи з активатором є наявність струмопровідних частин та обмоток індуктора, ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції або порушенні цілісності кабелів, можливий нагрів корпусу та індуктора до підвищених температур, а також контакт зі стоками, що містять патогенні мікроорганізми та токсичні домішки. Важливу роль відіграє і застосування активного хлору чи хлоровмісних реагентів, пари яких у разі неправильного дозування або недостатньої вентиляції можуть подразнювати слизові оболонки й дихальні шляхи. Додаткову небезпеку становить ризик розбризкування або витоків стоків при порушенні герметичності трубопроводів і з'єднань.

Конструкція активатора передбачає низку рішень, що сприяють підвищенню безпеки його експлуатації. Електромагнітний індуктор розміщено всередині металевого корпусу, який підлягає обов'язковому заземленню, що обмежує доступ оператора до електрично небезпечних елементів. Робоча камера, в якій переміщуються стоки та робочі тіла, є герметичною, завдяки чому зменшується ймовірність прямого контакту персоналу з оброблюваним середовищем. Активатор може бути інтегрований у замкнену гідравлічну схему перекачування стоків, що додатково знижує ризик розливів і неконтрольованого потрапляння рідини у виробниче приміщення. Органи керування та контрольно-вимірювальні прилади розташовуються поза безпосередньою зоною контакту з рідиною, що дозволяє оператору вести нагляд за роботою установки з безпечної відстані.

Порівняно з традиційними способами обробки гною (відкриті лагуни, неізольовані ємності, ручні операції) застосування активатора дозволяє істотно зменшити кількість ручних дій, пов'язаних із прямим контактом із гноєм, а також скоротити тривалість перебування людей у зоні підвищеної небезпеки. Інтенсифікація процесу знезараження в замкненому об'ємі сприяє обмеженню розповсюдження патогенних мікроорганізмів у повітрі робочої зони. Разом з тим безпечна експлуатація активатора потребує суворого дотримання вимог електробезпеки, надійної ізоляції та заземлення електрообладнання, наявності

справних захисних вимикачів, а також герметизації трубопроводів і вузлів під'єднання.

Додатковими обов'язковими заходами є забезпечення адекватної вентиляції в зоні дозування і приготування хлоровмісних реагентів, організація постійного нагляду за станом ущільнювальних елементів, регулярні профілактичні огляди електричної частини, а також навчання оператора правилам безпечної роботи з активатором і хімічними реагентами. У комплексі такі заходи дозволяють розглядати розроблений активатор як технологічне обладнання, яке при правильній експлуатації забезпечує належний рівень безпеки праці та сприяє зниженню виробничих ризиків у процесах переробки гною і стоків тваринницьких підприємств.

4.3 Проєкт інструкції з охорони праці оператора активатора

1. Загальні положення

1.1. До роботи оператором активатора допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли:

- медичний огляд;
- навчання та перевірку знань з охорони праці;
- первинний інструктаж на робочому місці;
- інструктаж з пожежної безпеки та біобезпеки.

1.2. Оператор повинен:

- знати будову, принцип роботи та правила експлуатації активатора;
- знати правила безпечної роботи з хлоровмісними реагентами;
- дотримуватись вимог цієї Інструкції, інструкції з експлуатації обладнання, внутрішнього трудового розпорядку.

1.3. Під час роботи оператор підпадає під дію таких небезпечних і шкідливих факторів:

- біологічні (патогенні мікроорганізми стоків);
- хімічні (активний хлор, аміак, сірководень тощо);

- фізичні (шум, підвищена вологість, можливий нагрів поверхонь, рухомі частини обладнання, електричний струм).

1.4. Оператор забезпечується ЗІЗ:

- спецодяг – комбінезон (або халат), фартух;
- гумові чоботи;
- гумові рукавиці;
- захисні окуляри (щиток) при роботі зі стоками та реагентами;
- респіратор/протигаз відповідної марки – при роботі з хлоровмісними речовинами;
- за потреби – беруші або навушники протишумні.

1.5. Оператор зобов'язаний негайно повідомляти безпосереднього керівника про кожний нещасний випадок, ситуацію, що загрожує життю та здоров'ю людей, або про несправність обладнання.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1. Прийняти зміну, уточнити режим роботи активатора, об'єм стоків, що підлягають обробці, тип і дозу реагентів.

2.2. Надіти встановлені ЗІЗ, перевірити їх справність і відповідність розміру.

2.3. Оглянути:

- стан електрообладнання (відсутність пошкоджень кабелів, оголених проводів, наявність заземлення);
- цілісність корпусу активатора, відсутність протікань стоків;
- стан трубопроводів, запірної арматури, приладів контролю.

2.4. Перевірити роботу:

- загальної та місцевої вентиляції;
- освітлення робочого місця.

2.5. Переконатися, що в зоні обслуговування немає сторонніх осіб, особливо в районі рухомих частин та запірної арматури.

2.6. Перевірити наявність і справність:

- аварійного вимикача (кнопки «Стоп»);
- засобів пожежогасіння;

- аптечки першої допомоги в доступному місці.

2.7. Підготувати хімічний реагент (розчин активного хлору) згідно з технологічним регламентом і окремою інструкцією з безпечного поводження з хлоровмісними речовинами. При цьому обов'язково використовувати рукавиці, окуляри/щиток і респіратор.

3. Вимоги безпеки під час роботи

3.1. Вмикати активатор лише при справній системі вентиляції та за наявності стоків у системі (не допускати «сухого» пуску, якщо це заборонено інструкцією з експлуатації).

3.2. Стежити за показаннями контрольно-вимірювальних приладів:

- електричних параметрів живлення;
- параметрів потоку стоків (витрата, тиск);
- температури (якщо передбачено датчиками).

3.3. Дозування реагента (активного хлору) здійснювати відповідно до регламенту, не перевищуючи встановлених норм. У разі випадкового проливу розчину – негайно нейтралізувати і змити водою з дотриманням вимог хімічної безпеки.

3.4. Забороняється:

- відкривати люки, роз'ємні з'єднання, проводити будь-які ремонтні операції на діючому активаторі або при наявності тиску у системі;
- виконувати монтажні або ремонтні роботи на електрообладнанні при поданому напрузі;
- торкатися руками електрощитів, клем, з'єднань;
- працювати без ЗІЗ або з несправними ЗІЗ.

3.5. Не допускати накопичення гною та стоків на підлозі робочої зони. У разі проливів – організувати прибирання з використанням відповідних засобів (лопати, скребки, промивання водою тощо).

3.6. У разі появи різкого запаху хлору, аміаку або сірководню, погіршення самопочуття (запаморочення, нудота, сльозотеча тощо) – негайно:

- припинити подачу реагента та/або зупинити активатор;
- вийти на свіже повітря;

- повідомити керівника;
- за необхідності звернутися за медичною допомогою.

3.7. При виникненні аварійної ситуації (відмова обладнання, сильний витік стоків, задимлення, поява іскріння, загоряння):

- негайно відключити активатор кнопкою аварійної зупинки, відключити електроживлення;
- вивести людей із небезпечної зони;
- у разі пожежі – застосувати відповідні засоби пожежогасіння, повідомити відповідні служби;
- самостійно не розбирати обладнання під напругою.

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

4.1. Зупинити активатор у відповідності до інструкції з експлуатації: припинити подачу стоків і реагента, вимкнути обладнання, відключити електроживлення.

4.2. Промити систему (за необхідності) згідно з регламентом.

4.3. Провести зовнішній огляд активатора, переконатися у відсутності протікань, механічних пошкоджень, аномального нагріву корпусу.

4.4. Привести до ладу робоче місце: прибрати інструменти, ЗІЗ, прибрати забруднення, вимити підлогу (за потреби).

4.5. Зняти спецодяг і ЗІЗ, розмістити їх у відведеному місці, помити руки з милом, при можливості – прийняти душ.

4.6. Повідомити змінника або керівника про виявлені за зміну недоліки, несправності, особливості роботи обладнання.

5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

5.1. При ураженні електричним струмом:

- негайно відключити джерело живлення або відтягнути потерпілого від струмопровідних частин, дотримуючись правил особистої безпеки;
- викликати швидку медичну допомогу;
- надати потерпілому першу домедичну допомогу (штучне дихання, непрямий масаж серця – за необхідності).

5.2. При попаданні стоків або розчину активного хлору на шкіру:

- негайно змити великою кількістю води;
- при подразненні – звернутися до медичного працівника.

5.3. При попаданні реагенту в очі:

- терміново промити очі чистою водою протягом 10–15 хвилин;
- негайно звернутися до лікаря.

5.4. При підозрі на гостре отруєння газами (хлор, аміак, сірководень):

- вивести (винести) потерпілого на свіже повітря;
- звільнити від стискуючого одягу;
- забезпечити спокій, зігрівання;
- викликати швидку допомогу.

4.4 Висновки

У розділі охорони праці розглянуто особливості технологічного процесу переробки гною та стоків тваринницьких підприємств, виявлено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори та сформульовано загальні вимоги безпеки при виконанні цих робіт.

Проведено оцінку розробленого активатора знезараження з точки зору охорони праці. Встановлено, що застосування активатора в закритій схемі знезараження стоків у поєднанні з комплексом організаційних та технічних заходів (герметизація, вентиляція, електробезпека, раціональне дозування хлоровмісних реагентів, забезпечення ЗІЗ) дозволяє знизити ризики для здоров'я персоналу порівняно з традиційними технологіями переробки гною.

Розроблено проєкт інструкції з охорони праці для оператора активатора, який регламентує безпечні прийоми праці до, під час та після роботи, а також дії в аварійних ситуаціях.

Отримані рішення створюють передумови для безпечної та надійної експлуатації активатора знезараження стоків, підвищення рівня виробничої безпеки та зниження ймовірності травматизму і професійних захворювань у працівників, зайнятих у процесах переробки гною.

5 Техніко-економічна оцінка

5.1 Вихідні дані

Ефективність упровадження нових технічних чи технологічних рішень оцінюють на основі їхніх економічних показників у порівнянні з уже застосовуваними аналогами. Як зазначалося у розділі 1, в Україні найпоширенішою технологією обробки рідкого свинячого гною є витримання з гомогенізацією. Тому подальші розрахунки економічної ефективності запропонованої технології виконуватимемо саме в порівнянні з цією технологією для відгодівельної свиноферми на 10 000 голів.

Для економічного порівняння розглядаються два варіанти технології обробки рідкого гною: базовий варіант – витримка з гомогенізацією та проєктний варіант – розроблена технологія з використанням активатора. Поголів'я свиней на відгодівлі для обох варіантів однакове і становить 10 000 голів. Вихід гною від однієї голови прийнято 6,5 л, що зумовлює добовий вихід гною 65 м³. Для базового варіанта кількість обробок гною протягом року становить 14, тоді як для розробленої технології – 1. Продуктивність обладнання для витримки з гомогенізацією дорівнює 65 м³/год, для активатора – 10,2 м³/год. Потужність встановленого обладнання в першому випадку становить 18,0 кВт, у другому – 44,0 кВт. В обох варіантах передбачено обслуговування однією особою. Нормативний строк служби обладнання прийнято 10 років, коефіцієнт амортизаційних відрахувань – 0,10, коефіцієнт відрахувань на технічне обслуговування та ремонт – 0,14. Балансова вартість комплексу обладнання для базового варіанта становить 280 000 грн, для розробленої технології – 365 600 грн.

5.2 Результати розрахунків

Таблиця 5.1 показує порівняння питомих витрат для базової технології витримки з гомогенізацією та розробленої технології з активатором у перерахунку на 1 м³ переробленого гною за сучасних цін.

Із таблиці видно, що за всіма основними статтями витрат проєктний варіант є економічно вигіднішим або не гіршим за базовий:

Заробітна плата обслуговуючого персоналу у розрахунку на 1 м³ зменшується з 11,33 до 4,87 грн/м³. Це пов'язано з меншою трудомісткістю процесу та скороченням часу обслуговування одиниці об'єму гною завдяки інтенсифікації процесу в активаторі.

Витрати на електроенергію для обох варіантів знаходяться на близькому рівні: 15,91 грн/м³ у базовому варіанті та 15,12 грн/м³ у проєктному. Незважаючи на більшу встановлену потужність активатора, за рахунок скорочення тривалості обробки та оптимізації режимів роботи загальні питомі енергетичні витрати дещо нижчі.

Амортизаційні відрахування та витрати на технічне обслуговування й ремонт у проєктному варіанті (1,05 та 1,46 грн/м³ відповідно) менші, ніж у базовому (1,76 та 2,46 грн/м³). Це пояснюється раціональнішим використанням обладнання та вищою ефективністю технологічної схеми.

У результаті сукупні питомі експлуатаційні витрати зменшуються з 31,45 грн/м³ (базовий варіант) до 22,50 грн/м³ (проєктний варіант).

Враховуючи капітальну складову, питомі приведені витрати становлять 33,14 грн/м³ для існуючої технології та 24,84 грн/м³ для активатора. Таким чином, економія за приведеними витратами становить близько 8,3 грн на кожен м³ переробленого гною, що для річного обсягу переробки забезпечує істотний сумарний економічний ефект.

Таблиця 5.1 - Показники економічної ефективності розробленої технології

Показник	Варіанти	
	витримка з гомогенізацією	розроблена технологія
Кількість обробок на рік	14	1
Продуктивність обладнання, м ³ /год.	65	10,2
Потужність обладнання, кВт	18,0	44,0

Оператори, люд.	1	1
Вартість обладнання, грн.	280000	365600
Питомі експлуатаційні витрати, грн./м ³	31,45	22,50
заробітна платня	11,33	4,87
витрати на енергоресурси	15,91	15,12
амортизація	1,76	1,05
ТО та ремонт	2,46	1,46
Питомі приведені витрати, грн./м ³	33,14	24,84
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	212338,75
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	0,52
Річний економічний ефект, грн.	-	196917,50

5.3 Висновки

Запропонована технологія знезараження стоків із використанням активатора забезпечує зниження питомих експлуатаційних витрат з 31,45 до 22,50 грн/м³, а приведених витрат – з 33,14 до 24,84 грн/м³ порівняно з базовою технологією витримки з гомогенізацією. Основна економія досягається за рахунок зменшення витрат на оплату праці та оптимізації енергоспоживання при інтенсифікації процесу. Сукупний річний економічний ефект для свиноферми на 10 000 голів становить близько 0,2 млн грн, що підтверджує економічну доцільність упровадження розробленого активатора в виробничих умовах.

Загальні висновки

У першому розділі встановлено, що серед стоків тваринницьких підприємств найбільшу епідеміологічну небезпеку й водночас високу добривну цінність мають виробничі стоки свинарства. Проаналізовано існуючі методи знезараження та конструкції активаторів і показано, що перспективним є комплексне фізико-хімічне знезараження в обертовому електромагнітному полі з додаванням активного хлору, однак відомі активатори не забезпечують утримання робочих тіл у робочій зоні при роботі з рідкими середовищами.

У другому розділі теоретично досліджено динаміку руху робочих тіл у робочій та постробочій зонах активатора й отримано систему диференціальних рівнянь, що описує траєкторії їх переміщення. Доведено, що без спеціальних пристроїв частина стержнів виноситься потоком стоків, що знижує ефективність знезараження. Експериментальна перевірка на стенді засвідчила прийнятну (порядку 3–4 %) розбіжність між теоретичними і натурними даними, що підтверджує адекватність моделі для розрахунку зони відбору робочих тіл.

На основі теоретичних досліджень у другому розділі розроблено технічні рішення для запобігання виносу робочих тіл і організації їх замкнутого руху: матрицю для утримання стержнів та пристрій повернення їх із постробочої в предробочу зону. Сформовано конструкцію активатора із замкнутим контуром переміщення робочих тіл, що забезпечує рівномірне заповнення робочої зони та виключає потрапляння стержнів у готовий продукт.

У третьому розділі проведено лабораторні дослідження активатора на модельних стоках, побудовано математичні моделі у вигляді поліномів другого порядку, які адекватно описують залежність питомої енергоємності та залишкового числа КУО від основних параметрів: заповненості робочої зони стержнями, відношення l/d , магнітної індукції, концентрації активного хлору та часу обробки. Оптимізацією встановлено параметри, за яких забезпечується нормативний рівень знезараження при мінімальній питомій енергоємності; розрахункові значення КОЕ ОКБ не перевищують допустимі, а енергоємність процесу істотно знижується порівняно з іншими варіантами.

У четвертому розділі показано, що застосування активатора в замкнутій схемі переробки гною зменшує контакт персоналу з рідким гноем та хімічними реагентами, знижує ризик аерогенного поширення патогенної мікрофлори й підвищує рівень біобезпеки. Розроблений проєкт інструкції з охорони праці для оператора встановлює вимоги до безпечної експлуатації активатора з урахуванням електробезпеки, роботи з хлоровмісними реагентами та специфіки переробки гною.

У п'ятому розділі економічно обґрунтовано доцільність впровадження розробленого активатора на свинофермі на 10 000 голів. З урахуванням сучасних цін встановлено зменшення питомих експлуатаційних витрат з 31,45 до 22,50 грн/м³, приведених витрат – з 33,14 до 24,84 грн/м³, питомий економічний ефект – близько 8,3 грн/м³, а річний економічний ефект – близько 0,2 млн грн. Це підтверджує, що запропонована технологія знезараження стоків свинарства є технічно й економічно ефективною для промислового впровадження.

Бібліографія

- 1 Бойко, П. І., & Сич, М. П. (2014). Утилізація гною та стічних вод тваринницьких комплексів. Львів: Львівський національний аграрний університет.
- 2 Дячук, В. А., & Коваленко, М. І. (2010). Переробка гною як елемент екологізації тваринництва. Екологія та ресурси, 2(27), 89–94.
- 3 Коваль, С. П., & Ляшенко, В. І. (2015). Екологічні аспекти утилізації органічних відходів тваринництва. Науковий вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія, 19, 210–215.
- 4 Мартинюк, І. П., & Гук, В. О. (2017). Сучасні технології переробки гною на фермах інтенсивного тваринництва. Механізація та електрифікація сільського господарства, 101(2), 45–52.
- 5 Носач, Л. В. (2016). Гігієнічна оцінка систем видалення та знешкодження гною на свинофермах. Ветеринарна медицина України, 9, 32–36.
- 6 Патица, В. П., & Ткаліч, І. Д. (2013). Мікробіологічні процеси при внесенні органічних добрив у ґрунт. Мікробіологічний журнал, 75(5), 45–53.
- 7 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів (ДСП 173-96). (1996). Київ: МОЗ України.
- 8 Державні будівельні норми України. ДБН В.2.4–2–2005. Гідротехнічні споруди. Основні положення. (2005). Київ: Мінрегіонбуд України.
- 9 ДСТУ 8660:2016. Добрива органічні. Терміни та визначення понять. (2016). Київ: ДП «УкрНДНЦ».
- 10 European Commission. (2017). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- 11 Burton, C. H., & Turner, C. (2003). Manure Management: Treatment Strategies for Sustainable Agriculture (2nd ed.). Silsoe: Silsoe Research Institute.

- 12 Hjorth, M., Christensen, K. V., Christensen, M. L., & Sommer, S. G. (2010). Solid–liquid separation of animal slurry in theory and practice. *Sustainable Agriculture*, 2, 953–986.
- 13 Popovic, O., Djukic, A., & Vucijak, B. (2012). Dairy and pig slurry management: Environmental impacts and treatment options. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 13(2), 413–422.
- 14 USEPA. (2004). Risk Assessment Evaluation for Concentrated Animal Feeding Operations (CAFOs). United States Environmental Protection Agency.
- 15 von Sperling, M. (2007). *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*. IWA Publishing.
- 16 Gehr, R., Chen, D., Moreau, M., & Poison, J. (2003). A comparison of ozonation and chlorination for the disinfection of wastewater. *Water Environment Research*, 75(1), 23–31.
- 17 Li, X., Zhu, J., & Jiang, X. (2011). Disinfection of swine wastewater using sodium hypochlorite and its impact on subsequent biological treatment. *Bioresource Technology*, 102(1), 180–185.
- 18 Pidlisnyuk, V., & Stefanovska, T. (2011). Environmental problems of livestock wastes in Ukraine and opportunities of their utilization. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 13(3), 1–7.
- 19 El-Halwagi, M. (2017). *Sustainable Design Through Process Integration: Fundamentals and Applications to Industrial Pollution Prevention, Resource Conservation, and Profitability Enhancement* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- 20 Zaleski, K. J., Gehring, T. M., & Mikkelsen, R. L. (2011). Land application of treated animal wastewater: Pathogen reduction and fate. *Applied and Environmental Soil Science*, 2011, Article ID 856836.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів обладнання для знезараження гною

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-4-24
Карпенко Юліан Сергійович

Керівник: PhD, старший викладач
Малєгін Роман Дмитрович

Дніпро 2025

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета дослідження – зниження питомої енергоємності активатора знезараження стічних вод тваринницьких підприємств шляхом оптимізації його параметрів.

Завдання дослідження:

теоретично дослідити динаміку переміщення робочих тіл у обертовому потоці рідини в активаторі;

експериментально дослідити параметри активатора під час знезараження стічних вод тваринницьких підприємств;

провести аналіз розроблених процесів з точки зору охорони праці;

оцінити економічний ефект від застосування запропонованого активатора для знезараження стоків тваринницьких підприємств.

Об'єкт дослідження – параметри активатора для знезараження стоків тваринницьких підприємств.

Предмет дослідження – залежності показників роботи активатора знезараження стоків тваринницьких підприємств від його конструктивних і режимних параметрів.

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

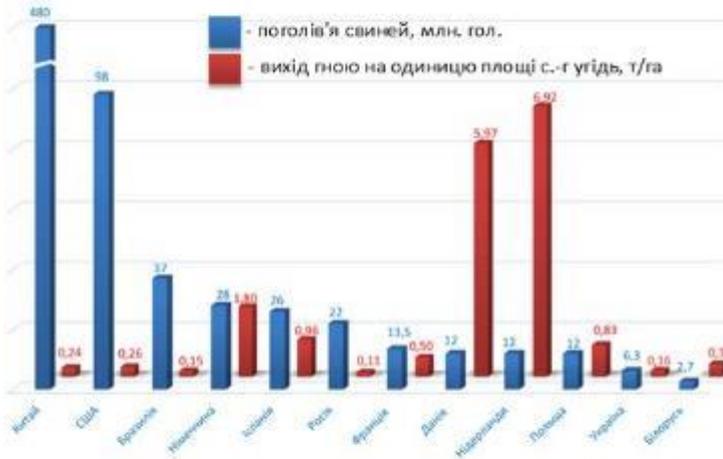


Рисунок 1 – Поголів'я свиней та вихід гною на одиницю площі с.-г угідь

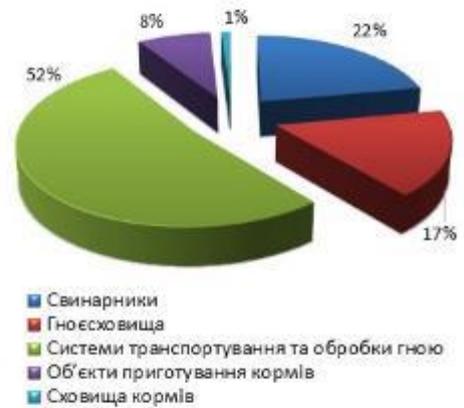


Рисунок 2 – Викиди від різних об'єктів свинарських підприємств (за речовинами з неприємним запахом)

Основними вимогами до систем транспортування та обробки гною щодо захисту навколишнього середовища є:

- забезпечення ізоляції потоків гною від **повітря, ґрунту, води**;
- забезпечення максимально можливого знезараження;
- забезпечення переведення хімічних елементів у придатну для споживання рослинами форму, що забезпечить їх максимальне винесення з ґрунту.

3

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ



Рисунок 3 – Блок-схема класифікації стоків тваринницьких підприємств

4

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

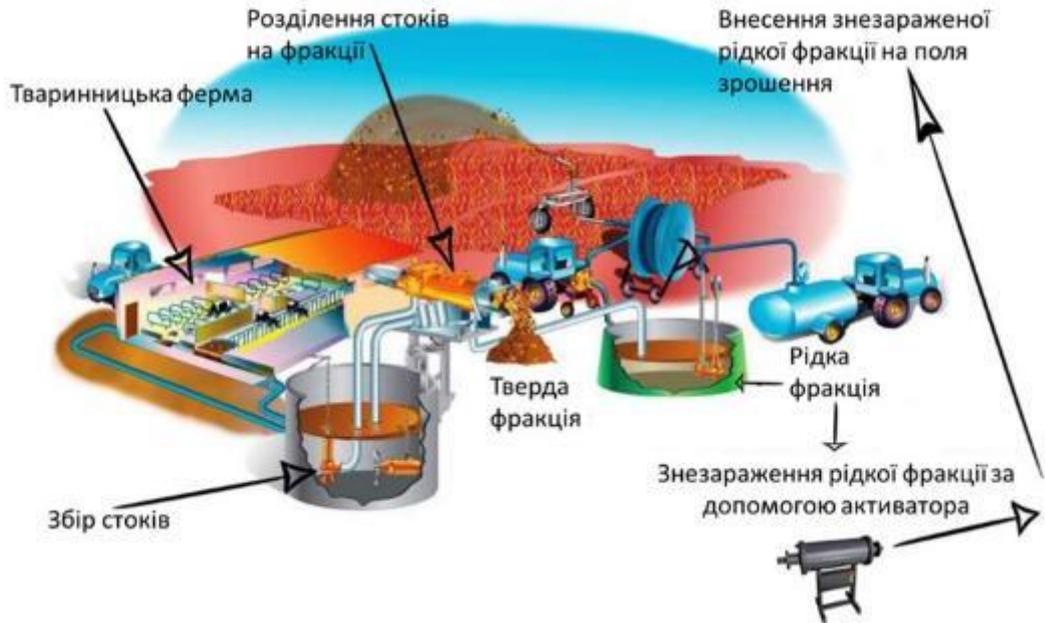


Рисунок 4 – Технологічна схема утворення та утилізації стічних вод на тваринницькій фермі

5

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

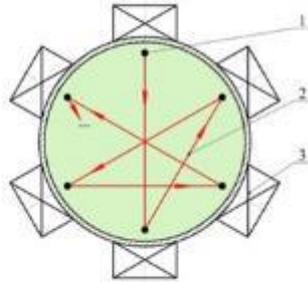


Рисунок 2.1 – Траєкторія руху робочих тіл у радіальній площині під дією електромагнітного поля

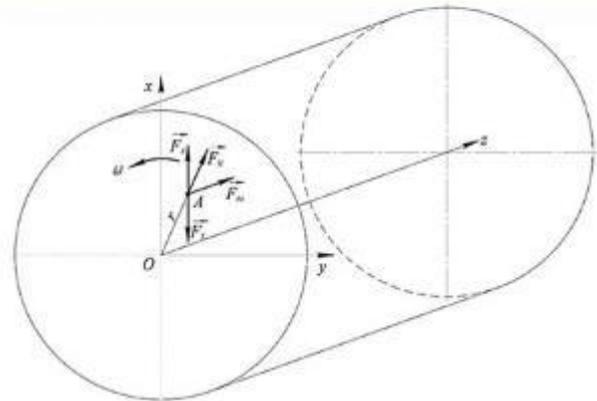


Рисунок 2.3 – Схема сил, що діють на частинку в післяробочій зоні

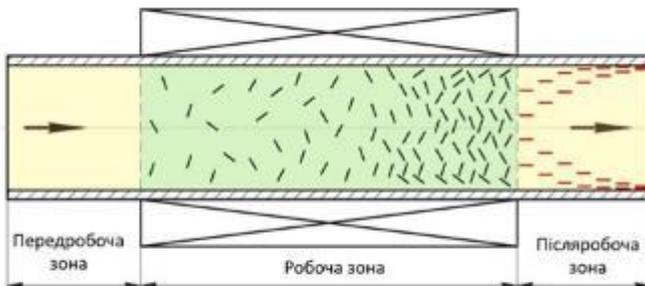


Рисунок 2.2 – Схема розподілу стрижнів в активаторі

Параметрична система, що описує траєкторію руху частинки в площині xz

$$\begin{cases} x(t) = \left(1 - \frac{m_{\text{жс}}}{m_v}\right) \frac{g}{\omega^2} [\cosh(\alpha x) - 1], \\ z = V_{\text{пол}} t \end{cases}$$

6

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Рисунок 2.4 – Траєкторія переміщення частинки в постробочій зоні активатора

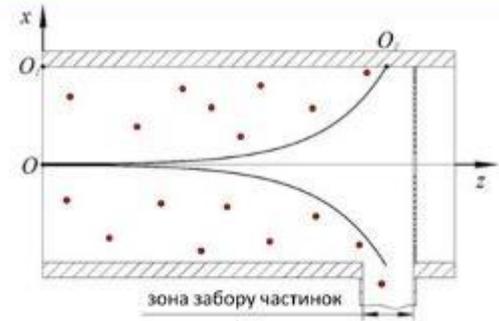


Рисунок 2.5 – Схема траєкторії руху частинки в постробочій зоні активатора

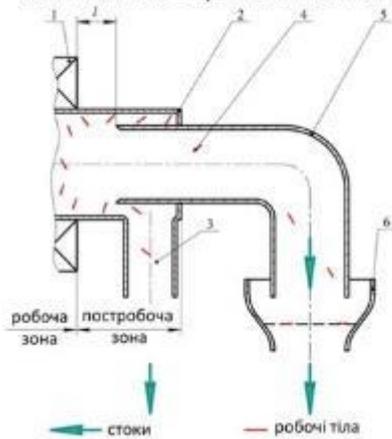


Рисунок 2.6 – Схема та загальний вигляд стенда для оцінки достовірності результатів теоретичного дослідження

7

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

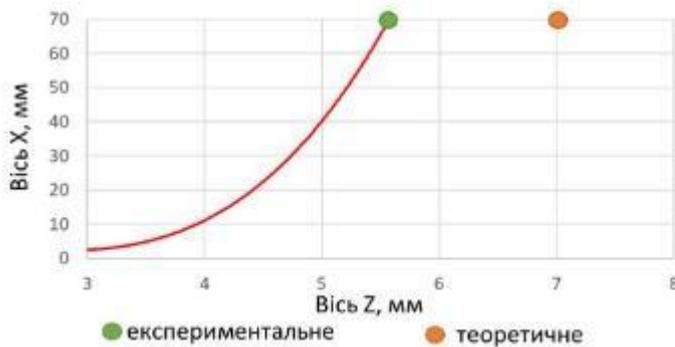


Рисунок 2.8 – Порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень

Порівняння розрахункового значення відстані $l_{\text{теор}} = 7$ мм, отриманого за результатами теоретичних досліджень, з експериментальним значенням $l_{\text{екс}} = 5,5$ мм показало наявність певного розходження. Відмінність пояснюється впливом факторів, не врахованих у спрощеній теоретичній моделі, зокрема опором рідини руху робочих тіл, можливими неоднорідностями потоку та конструктивними допущеннями.

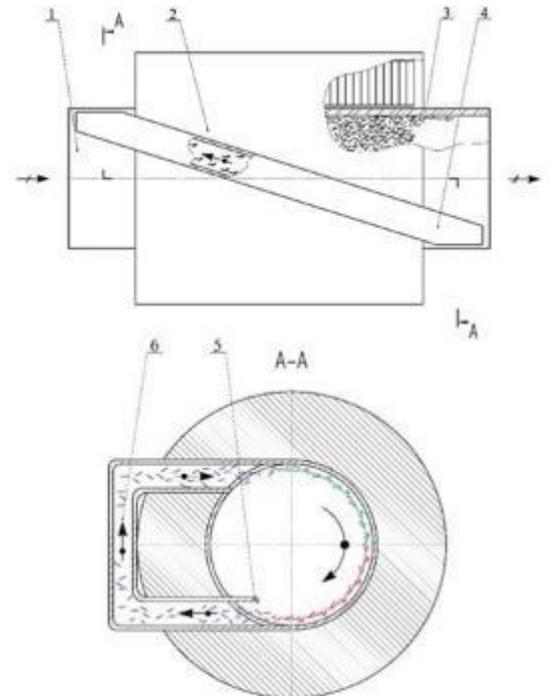


Рисунок 2.12 – Активатор із замкнутим переміщенням робочих тіл

8

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Активатор



Реактор та «голки»



Колонії мікроорганізмів до та після обробки

Рисунок 9 – Загальний вигляд активатора та лабораторного обладнання

9

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

$$N = 4,81 - 2,78\rho + 0,4l/d + 2,24B + 0,38\rho^2 - 0,014l/d^2$$

$$КУО = 244,8 - 4,11\rho - 3,48l/d - 0,408B + 0,058l/d^2 + 0,011B^2$$

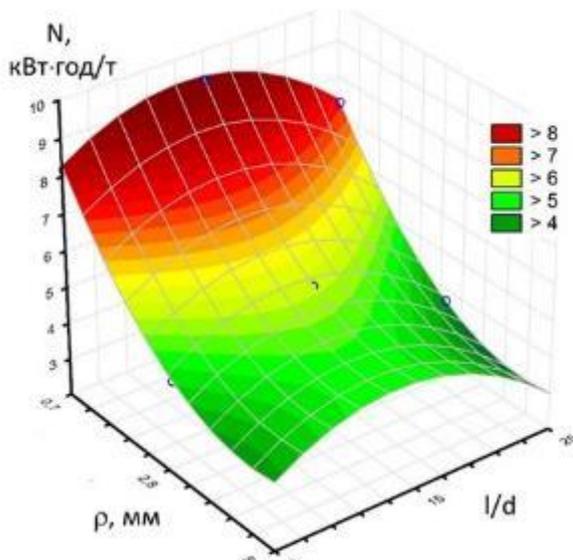


Рисунок 3.5 – Залежність питомої енергоємності від (ρ - заповненість робочої зони активатора стрижнями ρ, % і l/d - відношення довжини стрижнів до їх діаметра)

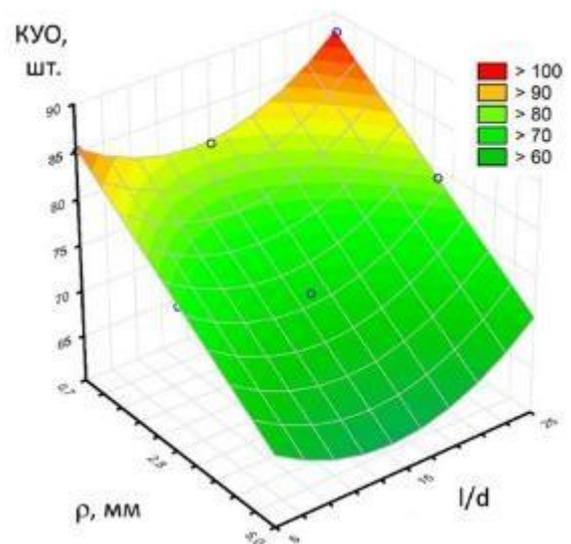


Рисунок 3.6 – Залежність числа КУО від (ρ - заповненість робочої зони активатора стрижнями ρ, % і l/d - відношення довжини стрижнів до їх діаметра)

10

ОХОРОНА ПРАЦІ

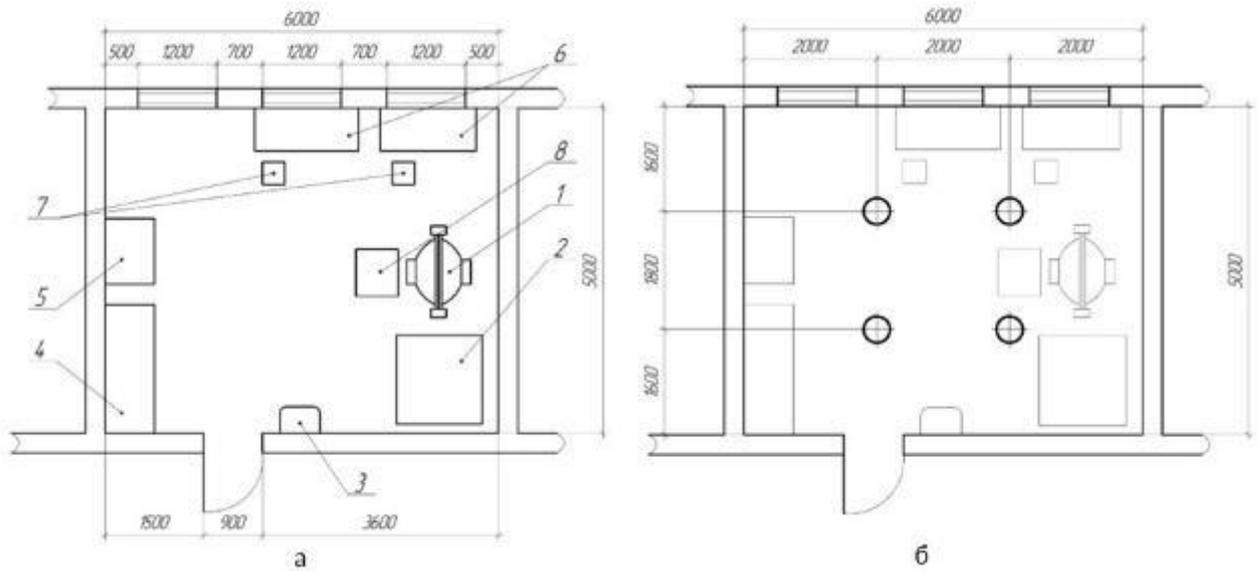


Рисунок 11 – Загальний вигляд приміщення лабораторії (а) та схема розміщення світильників (б):
 1 – активатор; 2 – шафа керування активатором; 3 – умивальник; 4 – шафа;
 5 – термошафа; 6 – лабораторний стіл; 7 – стілець; 8 – гумовий килимок

11

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ГНОЮ

Показник	Варіанти	
	витримка з гомогенізацією	розроблена технологія
Кількість обробок на рік	14	1
Продуктивність обладнання, м ³ /год.	65	10,2
Потужність обладнання, кВт	18,0	44,0
Оператори, люд.	1	1
Вартість обладнання, грн.	280000	365600
Питомі експлуатаційні витрати, грн./м ³	31,45	22,50
заробітна платня	11,33	4,87
витрати на енергоресурси	15,91	15,12
амортизація	1,76	1,05
ТО та ремонт	2,46	1,46
Питомі приведені витрати, грн./м ³	33,14	24,84
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	212338,75
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	0,52
Річний економічний ефект, грн.	-	196917,50

12

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналітичний огляд показав, що найнебезпечнішими й водночас цінними за добривною дією є виробничі стоки свинарства, а перспективним напрямом їх знезараження є комплексне фізико-хімічне оброблення в активаторі з обертовим електромагнітним полем та активним хлором.
2. Теоретичні дослідження динаміки руху робочих тіл у активаторі дали систему рівнянь для опису їх траєкторій і показали можливість виносу стержнів із робочої зони; експериментальна перевірка підтвердила адекватність моделі та дозволила обґрунтувати розташування вузла відбору й повернення робочих тіл.
3. На основі теорії розроблено конструкцію активатора із замкненим рухом робочих тіл, що забезпечує їх утримання в робочій зоні, рівномірне заповнення об'єму та стабільні умови інтенсивного знезараження рідких стоків.
4. Експериментальні дослідження та математичне моделювання встановили оптимальні параметри роботи активатора, за яких досягається нормативний рівень знезараження (за КУО) при істотному зниженні питомої енергоємності процесу.
5. Оцінка охорони праці та економічні розрахунки для свиноферми на 10 000 голів показали, що застосування активатора зменшує контакт персоналу зі стоками та реагентами, знижує виробничі ризики, а також скорочує приведені витрати з 33,14 до 24,84 грн/м³ і забезпечує орієнтовний річний економічний ефект близько 0,2 млн грн, що підтверджує доцільність його промислового впровадження.