

ПОЛТАВСЬКА ДЕРЖАВНА АГРАРНА АКАДЕМІЯ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технологій та обладнання переробних і харчових виробництв

Пояснювальна записка
до дипломної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»
бакалавр, магістр

на тему: «Удосконалення робочого процесу вібраційного змішувача кормових сумішей»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

назва ОПП

спеціальності 208 Агроінженерія

код та найменування спеціальності

ступеня вищої освіти «магістр» групи

ГРЕЧКО В. О.

Прізвище та ініціали студента

Керівник: **САКАЛО В. М.**

Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: **ІВАНКОВА О. В.**

Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Актуальність. В останні роки помітний безперервний прогрес при вдосконаленні та проектуванні обладнання для змішування сипких матеріалів. З'явилися нові конструкції вібраційних змішувачів і пристроїв, що перемішують, що представляють великий інтерес для комбікормового, харчового виробництва та інших суміжних галузей переробної промисловості: металургійної, будівельної, фармацевтичної, хімічної.

До найбільших здобутків вітчизняної науки можна віднести фундаментальні та прикладні розробки механіки вібраційних машин, механізмів та технологій. Цей порівняно молодий розділ механіки, що швидко розвивається, знаходить все більш широке практичне застосування при обробці дисперсних систем у віброкиплячому шарі, прискорює процес масообміну.

Зумовлено це тим, що при використанні вібраційних ефектів на матеріал, що обробляється, підвищується продуктивність обладнання, знижуються питомі енергетичні витрати, покращується якість продукції. Причому вібраційні ефекти піддаються швидкому регулюванню шляхом зміни параметрів вібрації, що сприяє оптимізації основних технологічних режимів, відповідно до високих вимог до якості суміші.

Мета дослідження. Підвищення ефективності приготування сипких кормових сумішей шляхом обґрунтування параметрів вібраційного змішувача з гнучким робочим органом.

У відповідності до мети в роботі вирішувались наступні завдання:

- проаналізувати тенденції розвитку вібраційних змішувачів та запропонувати шляхи їх удосконалення;
- обґрунтувати конструктивно-режимні параметри вібраційного змішувача;
- надати оцінку рівня потенціального небезпеки для природного навколишнього середовища та провести аналіз потенціальним можливостям виникнення аварійнонебезпечним ситуаціям при використанні нового технологічного засобу;

– оцінити економічну ефективність використання розробленого змішувача при приготуванні сипких кормових сумішей.

Об'єкт дослідження – технологічний процес віброзмішування в машинах із гнучким робочим органом.

Предмет дослідження – діючі фактори, зв'язки та закономірності технологічного процесу віброзмішування в машинах з гнучким робочим органом.

Методика досліджень. Постановку експериментальних досліджень проводили відповідно до чинних стандартів і розроблених індивідуальних методик.

Обробка результатів досліджень проводилася за допомогою ПК та використанням програмних продуктів: табличного процесора Microsoft Excel, математичного редактора STATISTICS.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Отримані апроксимовані рівняння, що відображають функціональний зв'язок між визначальними показниками роботи змішувача – якість змішування, питома потужність приводу та продуктивність – від визначних факторів: коефіцієнт перевантаження, масштабний фактор, безрозмірний час віброобробки.

2. Графоаналітичне залежності визначальних показників роботи змішувача від варіативної зміни визначних факторів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у:

1. Розроблено та запропоновано конструкцію вібраційного змішувача з гнучким робочим органом, що забезпечує отримання якісної кормової суміші, що відповідає вимогам ОСТ та зоотехнічним рекомендаціям.

2. Обґрунтовано параметри вібраційного змішувача, які можуть бути використані конструкторськими організаціями для розробки обладнання комбікормової промисловості.

1 СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз конструкцій змішувачів вібраційної дії

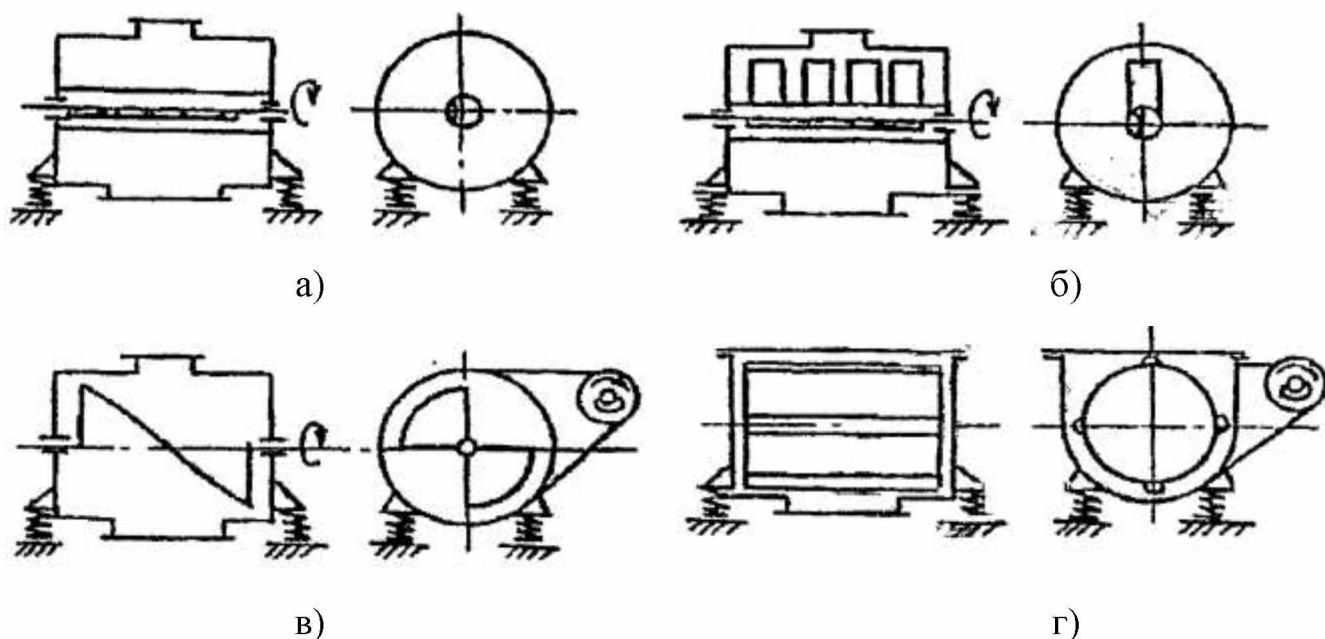
Виробництво сипких кормових сумішей у господарствах на малопотужному технологічному обладнанні економічно доцільно, так як досить зменшується витрати на переміщення сировини, його зберігання та добре застосовується місцевий потенціал кормової бази.

Виробництво кормів сипкого типу – тяжкий процес, для якого ключовою технологічною операцією є змішування. Однак наявні змішувачі не дозволяють отримати високоякісне змішування [1,16].

При проектуванні змішувачів сучасного покоління перспективним напрямом є застосування вібрації.

Змішування відбувається більш якісно при використанні вібрації, при цьому у даному випадку зменшується сили зчеплення між елементами суміші, що окреслює відповідні умови для перемішування різноманітних компонентів. Вібрація, як один з різновидів механічної дії на складні системи, є ефективним підходом керування його динамічного стану. Особлива риса вібрації – здатність впливати на суттєві об'єми сипкого матеріалу та на тонкі прошарки шляхом зміни амплітуди та частоти вібрації [19]. На підставі цього виникає потреба обґрунтувати робочі параметри змішувача вібраційної дії для кормів з гнучким органом для отримання суміші високої якості.

На рисунку 1.1 представлені конструкції вібраційних змішувачів періодичної дії, виконаних на базі вібромлинів. Робоча камера таких змішувачів спирається на пружні опори, що дозволяє їй здійснювати коливальні рухи. Завдяки створюваній вібрації, частинки сипучого матеріалу інтенсивно циркулюють всередині камери, внаслідок чого виходить однорідна маса. При очевидній простоті конструкції змішувачі такого типу залишаються громіздкими та малопродуктивними.



а) з дебалансним віброзбудником всередині валу; б) з дебалансним віброзбудником усередині валу та напрямною гребінкою; в) з виносним віброзбудником і лопатевим валом, що примусово обертається; г) з виносним віброзбудником та реактивним скребком

Рисунок 1.1 - Конструкції вібраційних змішувачів, розроблені на базі вібромлин М-100, М-200, М-400.

Конструкція вібраційного змішувача ДВС-Н представлена на рисунку 1.2. Він складається з корпусу 1, всередині якого встановлені два вали з лопатками 7, при цьому вали обертаються один одному. Одна частина приварених до валів лопаток має кут атаки 90° , а інша - 45° . Корпус вібраційного змішувача закріплений на пружинах 5, рама змішувача приводиться в коливальний рух обертовим валом 4 з дебалансом. У нижній частині рами встановлена противага 3, вали змішувача приводиться в обертання від електродвигуна [21].

Вібраційний змішувач працює наступним чином: компоненти, що підлягають змішуванню, засипаються в приймальну воронку, звідки вони потрапляють у внутрішню порожнину змішувача, там компоненти піддаються інтенсивному перемішуванню лопатками з кутом атаки 90° , а лопатки з кутом атаки 45° проштовхують суміш до вивантажувального вікна.

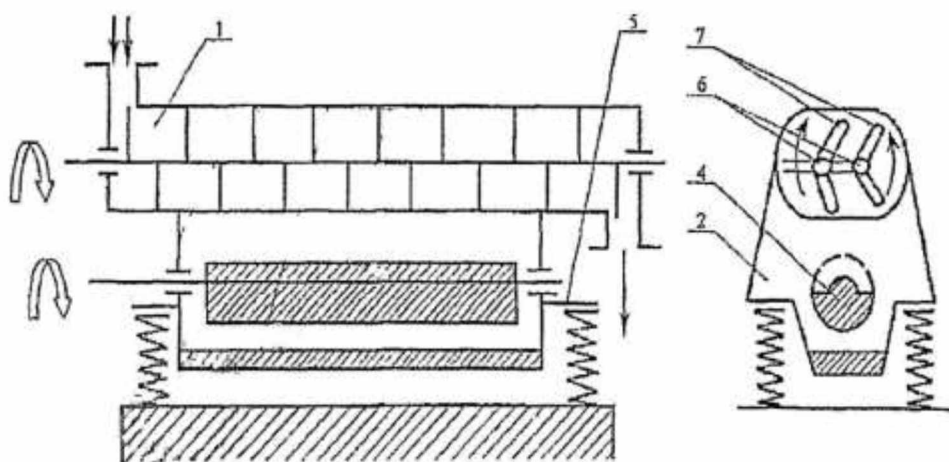


Рисунок 1.2 – Вібраційний змішувач ДВЗ-Н

Основним недоліком даного вібраційного змішувача є висока металоємність та енергоємність.

Подано на рисунку 1.3 конструкцію лоткового вібраційного змішувача. Конструкція даного типу змішувача являє собою вібраційну машину, що транспортує, з плоским жолобом 1, в якому каскадно встановлені гребінки 5, що є робочими органами. Коливальні рухи повідомляються жолобу через еластичні ресори 3, встановлені на рамі 2. Під час роботи маса, що змішується, під впливом вібрації перемішується за рахунок розпушення на кромках зубів [25].

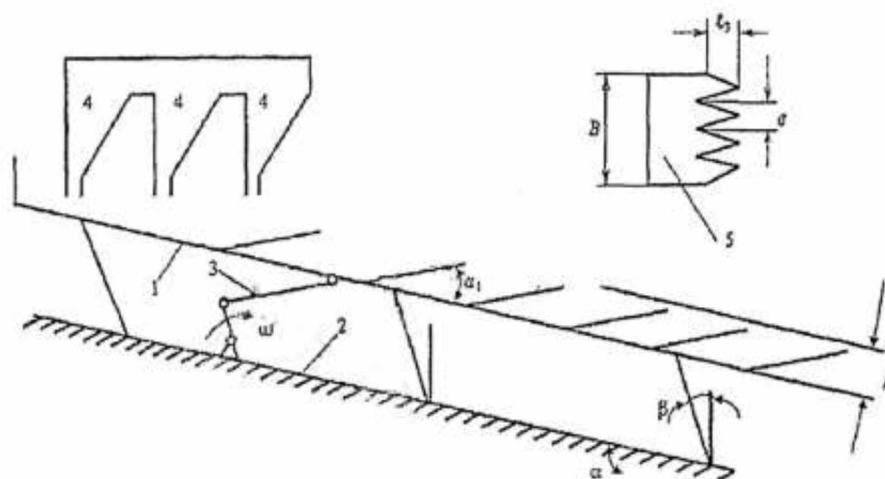


Рисунок 1.3 – Лотковий вібраційний змішувач

До основного недоліку даної конструкції слід віднести відсутність здатності, що згладжує, при нерівномірній подачі компонентів дозаторами.

На рисунку 1.4 надано вид вібраційного змішувача. Дана конструкція містить тороподібний корпус 1, патрубки введення 5 і виведення матеріалу 6, внутрішню насадку 7, жорстко закріплену в центрі основи змішувача.

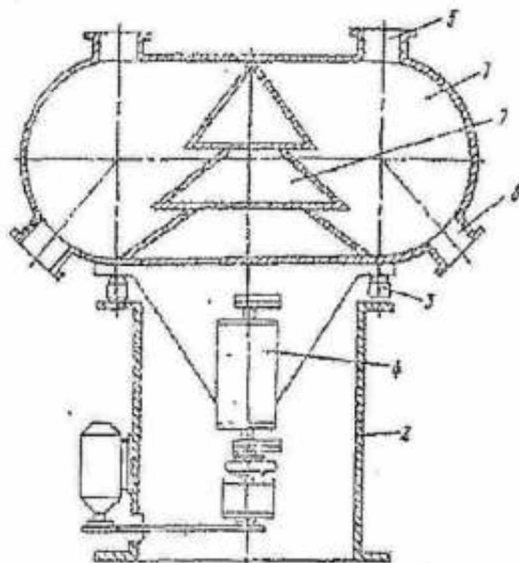


Рисунок 1.4 – Вібраційний змішувач з тороподібною камерою змішування

Робота цього пристрою здійснюється в такий спосіб. При включенні віброзбуджувача корпус 4 змішувача 1 отримує коливання, в результаті яких матеріал починає циркулювати по складній траєкторії навколо внутрішньої насадки 7 і при зіткненні з її складною поверхнею отримує імпульс, що ускладнює траєкторію руху частинок. Таким чином, встановлення внутрішньої насадки інтенсифікує процес змішування [23,26].

До недоліків даної конструкції вібраційного змішувача слід віднести незначний обсяг ємності змішувача та статичне закріплення внутрішнього робочого органу.

Конструкція вібраційного змішувача представлена на рисунку 1.5. Він складається з корпусу 1, з торцевими кришками 2 і встановленого на опорах 3 з можливістю вільного обертання корпусу 1, а опори 3 з'єднані з віброприводом 4.

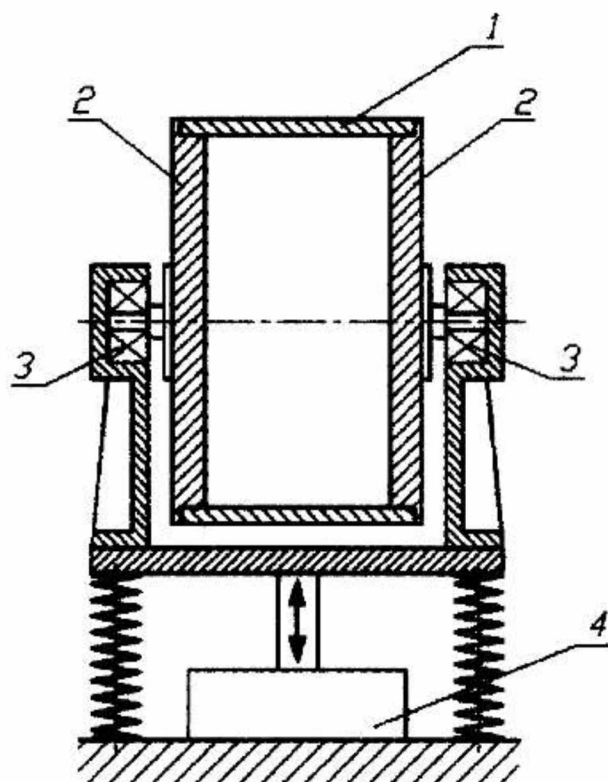


Рисунок 1.5 – Вібраційний змішувач.

Пристрій працює наступним чином. Сипучий матеріал із заданим співвідношенням компонентів попередньо завантажують в корпус 1. Вібраційна дія від віброприводу 4 через опори 3 передається на корпус 1 з сипучим матеріалом. Параметри вібрації (амплітуда та частота) повинні забезпечити перехід сипучого матеріалу у віброзріджений стан. Віброзріджений сипкий матеріал перетворюється на впорядкований циркуляційний рух, обертаючи корпус 1. [21].

Основним недоліком даної конструкції змішувача є високий рівень шуму під час роботи змішувача.

На рисунку 1.6 представлений вид вібраційного змішувача безперервної дії. У корпусі вібраційного змішувача на штоку 2 закріплений набір зворотних перфорованих конічних тарілок 1. Усередині штока із зазором додатково встановлений циліндр 3, в якому розташований шнековий дозатор 4, що приводиться в обертання електродвигуна [1,5,14].

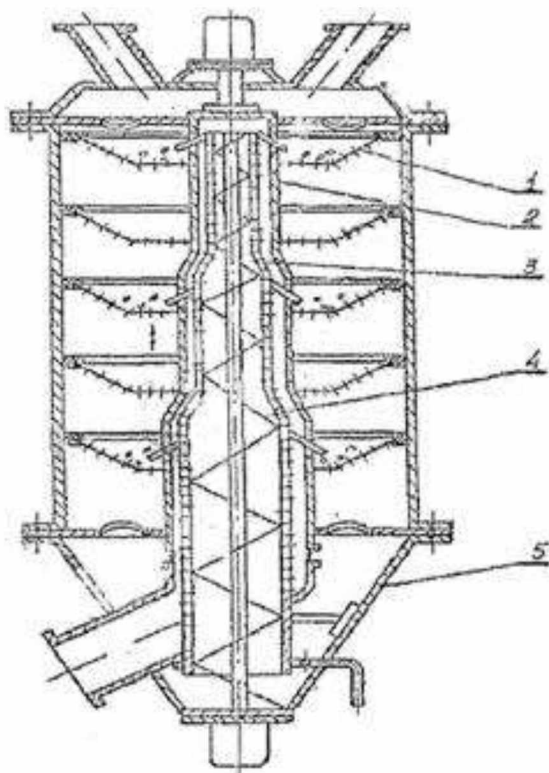


Рисунок 1.6 – Вібраційний змішувач безперервної дії

Пропонована конструкція змішувача працює в такий спосіб. Вихідні компоненти вводяться в змішувач через штуцер і потрапляють на верхню тарілку 1, де вібратор 5 повідомляє штоку і тарілкам коливальні рухи. При цьому сипкий матеріал на тарілці під дією вібрації утворює віброкиплячий шар і одночасно просівається крізь її отвори, далі змішуються компоненти послідовно проходять через ряд тарілок, що вібрують, ретельно перемішуються в кінці дніщі апарату.

Недоліком розглянутої конструкції вібраційного змішувача є утворення застійних зон у робочій камері змішувача.

Конструкція трубного вібраційного змішувача (рис. 1.7). У камері змішування 1, ексцентрично розміщена труба 2, всередині труби 2 розташований вал, що обертається з дебалансами 3. Вал приводиться в обертання від електродвигуна, встановленого на станині змішувача. Камера змішування спирається на пружини 4, при цьому пружини через гумові прокладки також спираються на станину корпусу 5 [16].

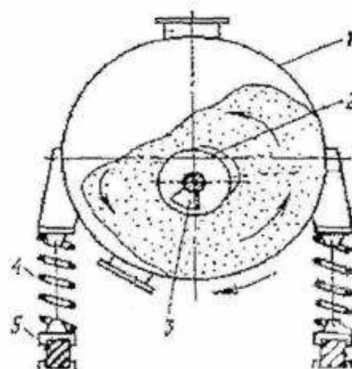


Рисунок 1.7 – Трубний вібраційний змішувач

Працює змішувач в такий спосіб. Змішувані компоненти завантажують у камеру змішування. У ній змішувана маса сипучого матеріалу безперервно пересувається вздовж труби, що вібрує. Труба рухається круговою або еліпсоїдальною траєкторією з високими прискореннями. Основна маса сипучого матеріалу циркулює в поперечних перерізах труби у бік, зворотну обертанню віброзбудника.

Основними недоліками даної конструкції є високі динамічні навантаження у системі, шумність у роботі.

Подано на рисунку 1.8 конструкцію вібраційного змішувача безперервної дії. Змішувач складається з віброжолоба 1 з укріпленими всередині нього рівномірно один за одним з нахилом до днища перемішують елементами 2. Віброжолоб 1 за допомогою ресор 3 спирається на раму 4. Коливання повідомляються віброжолобу ексцентриковим приводом 5. Перемішують елементи 2 кінці та пружини 7 на іншому [16].

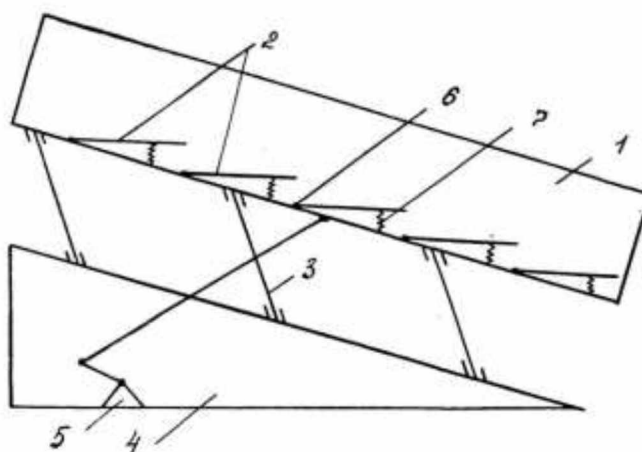


Рисунок 1.8 – Вібраційний змішувач конструкції

Принцип роботи змішувача є наступним. Під впливом вібрації жолоба маса надходить на перший елемент, що перемішує, пересувається деякий час по його гладкій частині, потім по його зубах, де перемішуються частинки маси, потім відбувається падіння маси на днище жолоба, переміщення по гладкій частині другого елемента, що перемішує, переміщення по його зубах, падіння тощо. Поряд з основними коливаннями жолоба змішувача з елементами, що перемішують, останні додатково здійснюють коливання (вібрації) з невеликою амплітудою у вертикальній площині.

1.2 Технологічні характеристики змішувачів

До технологічних характеристик змішувачів відносять [16]:

- технологічну (корисну) місткість змішувача, тобто. обсяг фактичного перемішування, м³;
- якість змішування кормів, що визначається через коефіцієнт варіації контрольного компонента;
- тривалість змішування (час для досягнення необхідної однорідності суміші), хв;
- продуктивність змішувача, кг/с;
- пристосованість до виконання спеціальних технологічних операцій (запарювання, подрібнення, роздавання кормів).

До конструкції та режимів робочих органів змішувачів пред'являються й інші вимоги, такі як виключення застійних зон та сепарації суміші по гранулометричному складу, забезпечення швидкого завантаження компонентів та вивантаження кормосуміші. Це досягається відповідним вибором робочих органів, а також конструкції змішувача і допоміжних пристроїв для конкретних умов з урахуванням фізико-механічних властивостей компонентів, що змішуються.

Серед перерахованих показників найважливіше значення мають ті, які визначають якість змішування кормів.

Для оцінки якості змішування суміш умовно вважають двокомпонентною. Зазвичай виділяють один компонент (контрольний), інші об'єднують у другий

(умовний). Таким чином, у цій двокомпонентній суміші випадковою величиною є вміст контрольного компонента мікрооб'ємі. До контрольного компонента висувають такі вимоги: порівняльна простота визначення його вмісту в пробі, невелика кількість, на відміну від інших компонентів.

Цим вимогам у комбікормах відповідає сіль, у вологих кормах – насіння ячменю чи буряків. Контрольним компонентом може бути або компонент кормосуміші, що входить до неї в малих кількостях, або компонент, що спеціально вводится (індикатор).

У цьому вважають, що й контрольний компонент розподілений рівномірно, те й інші розподілені задовільно. Відповідно до ОСТ 70.18.2–93, якісною характеристикою процесу змішування є нерівномірність (неоднорідність) суміші, що оцінюється за допомогою коефіцієнта варіації C_x контрольованого або контрольного компонента. Як останні можуть служити кухонна сіль, зерна ячменю або насіння буряка, що вводяться в кількості 1% до маси всієї суміші [18].

Для отримання інформації, необхідної для підрахунку коефіцієнта варіації контрольованого або контрольного компонента, відбирають 15...20 проб через рівні проміжки часу при розвантаженні готової суміші змішувачем безперервної дії або всього обсягу суміші в порційному змішувачі.

Маса проби для комбікормових сумішей повинні становити 5 г, вологих та рідких сумішей для свиней та сухих для великої рогатої худоби – 100 г, вологих для великої рогатої худоби – 300 г.

Розрахунок для змішувачів безперервної дії:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1.1)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (1.2)$$

$$C_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \cdot 100, \quad (1.3)$$

де x_i – концентрація параметра, що контролюється в пробах;

$\bar{x}$ - середньоарифметична концентрація контрольного параметра;

n – кількість відібраних проб.

Однорідність суміші θ пов'язана з неоднорідністю відношенням

$$\theta = 100 - C_x, \% \quad (1.4)$$

Чим менше C_x і чим більше θ , тим однорідніша суміш, що характеризує ефективність роботи змішувачів. Підраховане значення неоднорідності суміші має перевищувати зоотехнічні норми.

Незалежно від типів змішувачів, порційної або безперервної дії та їх конструктивних особливостей, у процесі змішування виявляються деякі загальні властивості показників мінливості $\sigma(t)$ та $C_x(t)$, а саме: у міру збільшення тривалості змішування у порційних змішувачах та робочої довжини змішувачів безперервної дії зменшення названих показників ідентичне і наближається до певної межі. Збільшення часу змішування чи довжини змішувача покращує рівномірності розподілу компонентів.

1.3 Зоотехнічні вимоги до кормових сумішей

Суттєве значення для суміші має рівень однорідності, так як добовий раціон, у тому числі одноразове доза корму для тварин або птиці, є досить незначне. Це може бути виміряно десятками грамів.

У даній незначній кількості корму повинні міститися усі речовини, що передбачено раціоном кормів, преміксів та інших корисних речовин. Рівномірність розподіл складових кормів забезпечується їх змішуванням.

Метою процесу змішування – перетворення певного переліку компонентів на однорідну суміш з достатніми харчовими властивостями. Іншими словами – спільність процесів спрямованого для формування однорідного за кількісним складом, фізико-механічними властивостями чи щільністю зі сукупності потрібних компонентів [5].

Якісна характеристика процесу змішування визначається ступенем однорідності суміші. Її мінімальне значення визначає зоотехнічні вимоги:

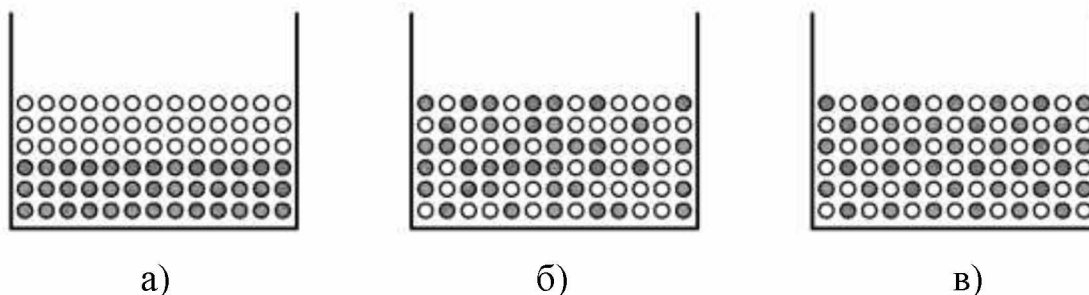
- для свиней – 84%;

- птахів - 80%;
- великої рогатої худоби - 70%;
- комбікормів власного виробництва – 94%.

Перемішування маси кормів часто призводить до перерозподілу тепла, вологості та розчинення інших добавок.

У технологічних засобах змішування відбувається переміщення частинок різноманітних компонентів суміші, у даному випадку в ідеальних умовах може бути отримана суміш, у довільній точці якої співвідношення компонентів відповідає заздалегідь окресленому (рис. 1.9).

Окреслений ідеальний розподіл можливий для суміші, де відповідні складові містяться у вигляді сферичних частинок, що мають однакові властивості та розміри, і при відсутності сили тяжіння. Звичайно, що у кормових сумішех цього не може бути, так як суміш компонентів складається з частинок з відмінними розмірами, які характеризуються різними властивостями.



а) вихідний стан; б) статистичний розподіл компонентів при змішуванні; в) ідеально змішана суміш

Рисунок 1.9 – Етапи змішування двох компонентів

Внаслідок чого на процес його переміщення впливає значна кількість факторів, але в незначних кількостях продукту, що піддається змішуванню, допускається несуттєва різноманітність взаємного розміщення частинок. Внаслідок чого на перебіг процесу змішування впливає значна кількість факторів, а в незначних об'ємах продукту, що перемішується, ймовірна велика різноманітність розміщення частинок. Тому співвідношення компонентів у довільній точці суміші – випадкова величина.

1.4 Висновки до першого розділу

Аналіз існуючих конструкцій змішувачів вібраційної дії, що застосовуються у виробництві сипких кормових сумішей дозволяє зробити такі висновки:

1. Застосовувані в даний час змішувачі не відповідають вимогам, що висуваються до них, у зв'язку з чим впливає необхідність подальшого поліпшення в частині зниження їх енергоємності, шуму та динамічної напруженості в роботі.

3. Перспективним напрямом у виробництві сипких кормових сумішей є використання вібрації, що дозволить інтенсифікувати процес змішування.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Задачі теоретичних досліджень

Метою експериментальних досліджень є обґрунтування конструктивних параметрів установки для змішування сипких кормів та виявлення загальних закономірностей процесу змішування.

Для того щоб забезпечити методичність проведення експериментальних робіт, необхідно дотримуватись послідовності в роботі, тобто мати програму експериментальних досліджень.

Програма експериментальних досліджень містить наступний перелік етапів:

Перший етап – розробка програм та методик, які забезпечують проведення експериментальних досліджень з мінімальними витратами часу; вибір незалежних та залежних змінних, що підлягають дослідженню; вибір якісних та кількісних рівнів, досліджуваних факторів та побудова математичної моделі процесу.

Другий етап – розробка експериментальної установки та підготовка вимірювальної апаратури; проведення експериментів та математична обробка отриманих даних.

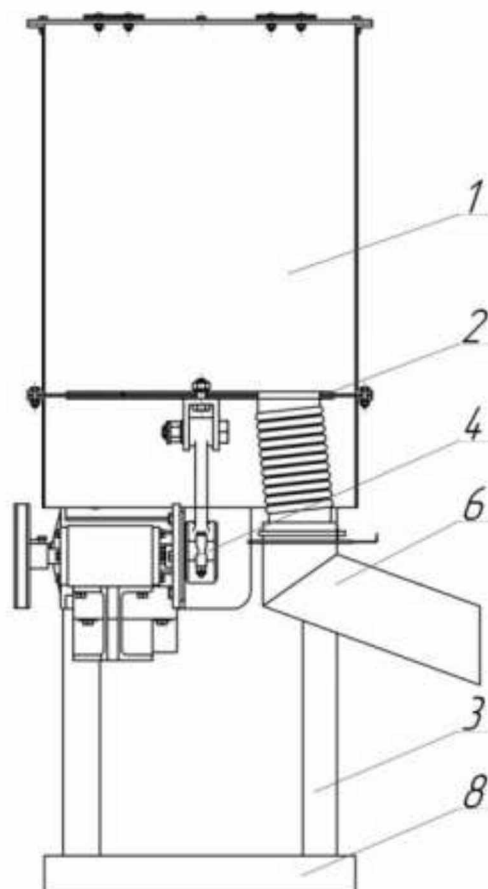
2.2 Опис експериментальної установки та обґрунтування її параметрів

Під час розробки експериментальної установки до неї пред'являлися такі вимоги:

1. Нескладна конструкція, здатність швидкого розбирати та складати основні вузли.
2. Можливість регулювання конструктивних та кінематичних параметрів незалежно один від одного в необхідних межах.
3. Стійкість режимів роботи та стабільність вихідних параметрів.

В результаті аналізу існуючих змішувачів, викладеного в першому розділі, було ухвалено рішення про розробку вібраційного змішувача періодичної дії з робочим органом гнучкого типу.

Пропонований вібраційний змішувач (рис. 2.1) складається з камери змішування 1, в нижній частині якої кріпиться гнучке віброридище 2.



1 – камера змішування; 2 - гнучке віброридище; 3 – стійка; 4 – вібропривід; 5 – електродвигун; 6 – вивантажувальний патрубок; 7 – пульт управління; 8 – основа

Рисунок 2.1 - Експериментальний зразок вібраційного змішувача

Робочий процес досліджуваного вібраційного змішувача з робочим органом гнучкого типу протікає в такий спосіб. Після встановлення всіх необхідних параметрів камеру змішування 1 (рис. 2.1) засипають основний та контрольний компоненти. За допомогою пульта керування 7 запускається електродвигун 5, який приводить у обертання вібропривід 4. Вібропривід 4 перетворює обертальний рух електродвигуна 5 вертикальні прямолінійні коливання гнучкого віброридища 2. Коливання гнучкого віброридища 2 сприяють інтенсивному змішуванню матеріалу. Після закінчення процесу змішування матеріал вивантажується через вивантажувальний патрубок 6. На виході з вивантажувального патрубку 6 із суміші відбирають проби за допомогою пробовідбірника.

Таблиця 2.1 - Технічна характеристика дослідного варіанту вібраційного змішувача

Показники	Значення
Габарити змішувача, мм:	
Довжина	740
Ширина	640
Висота	1300
Потужність електродвигуна, кВт	1,0
Частота обертання електродвигуна, об/хв	1450
Амплітуда коливань, мм	3...8
Продуктивність змішувача, кг/год	до 500
Маса змішувача, кг	120

Для зміни амплітуди було використано набір змінних ексцентриків, які представлені на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Набір змінних ексцентриків

Частоту обертання електродвигуна змінювали за допомогою перетворювача частоти електричного струму FR-E540-0.4K-7.5K(ЕC), представленого на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Перетворювач частоти електричного струму FR-E540-0.4K-7.5K(FC)

Для реєстрації потужності, що споживається електродвигуном, використовувався вимірювальний комплект К-50, представлений на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Вимірювальний комплект К-50.

2.3 Методика визначення якості суміші

Для того щоб визначити якість змішування, суміш символічно відносять до двокомпонентної [18]. За ступенем розподілу контрольного компонента надають оцінку якості суміші. Таким чином, у двокомпонентній суміші випадковою величиною X є вміст контрольного компонента у мікрооб'ємах суміші.

Випадкова величина X може бути повністю охарактеризована, якщо відомі закон її розподілу, математичне очікування, дисперсія або середньоквадратичне відхилення [20].

Більшість дослідників як основний критерій оцінки якості суміші приймають середньоквадратичне відхилення вмісту контрольного компонента у пробах, взятих із суміші [17,20]. Величину середньоквадратичного відхилення σ за даними дослідів підраховує за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (2.1)$$

де X_i – маса контрольного компоненту, відібраного з кожної проби;

$\bar{X}$ - середньоарифметична маса контрольного компоненту у всіх пробах;

n – кількість проб.

Для оцінки критерію якості суміші використовується коефіцієнт варіації (неоднорідності) v , що обчислюється за формулою [17,20]:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100\%. \quad (2.2)$$

Коли режим роботи змішувача ставав стійким, відбирали проби за допомогою пробовідбірника, що рівномірно протаскується за допомогою лебідки. Зважування проб проводили на електронних вагах ВЛТК-500. Зерна контрольного компонента з кожної проби відбирали вручну.

2.4 Методика проведення основного експерименту

Основними факторами, які мають найбільший вплив на перебіг досліджуваного процесу змішування є наступні фактори: $A\omega^2/g$, h/D , ωt . Рівні варіювання факторів та їхнє кодоване значення представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Рівні факторів та інтервали варіювання

Найменування факторів	Кодоване значення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання		
			-1	0	+1
Коефіцієнт перевантаження, $A\omega^2/g$	x_1	4,6	16,4	23,0	29,8
Масштабний фактор, h/D	x_2	0,3	0,23	0,55	0,83
Безрозмірний час віброобробки, ωt	x_3	22000	33000	55000	75000

Аналіз літературних джерел та попередніх досліджень показав, що в прийнятому факторному просторі потрібні функції відгуку можуть описуватися поліноміальними рівняннями другого порядку [2,15,17,20]. На підставі вищевикладеного, для експериментальних досліджень була використана методика багатфакторного експерименту з застосуванням квазіоптимального плану Пісочинського для трьох факторів [20]. Робоча матриця представлена таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Робоча матриця плану Пісочинського

Номер досліді	$x_1, (A\omega^2/g)$	$x_2, (h/D)$	$x_3, (\omega t)$
1	0	+	+
2	0	-	+
3	0	+	-
4	0	-	-
5	+	0	+
6	-	0	+
7	+	0	-
8	-	0	-
9	+	+	0
10	-	+	0
11	+	-	0
12	-	-	0
13	0	0	0

Досліди проводили із триразовою повторністю, порядок проведення дослідів визначали рандомізацією.

Поліноміальна модель другого ступеня має вигляд:

$$y = b_o + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i \leq j}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2. \quad (2.3)$$

Перевірку однорідності (відтворюваності) експериментів у паралельних дослідах проводили за критерієм Кохрена, так як у всіх точках матриці планування є однакове число паралельних вимірів [17,20].

$$G = \frac{S_{n\max}^2}{\sum_{n=1}^N S_{yn}^2}, \quad (2.4)$$

де $S_{n\max}^2$ - максимальна дисперсія експерименту;

S_{yn}^2 - дисперсія одного досліду;

N – кількість дослідів (N=26);

n – кількість повторів (n=3).

При рівні значущості $\alpha=0,05$, кількості дослідів N та кількості ступенів свободи $f = n - 1$ визначали табличне значення критерію Кохрена $G_{\text{ТАБЛ}}$ [17,20].

Коефіцієнти регресії обчислювали за допомогою програми Statistica для ПК. Особливістю обробки результатів експерименту планів типу B_k є метод розрахунку дисперсії оцінок ефектів коефіцієнтів рівнянь регресії. Відповідно до дисперсії S^2 та середньоквадратичні помилки S оцінок коефіцієнтів визначаються за такими формулами:

$$\begin{cases} S_{b0}^2 = c_1 \cdot S_y^2; \\ S_{bi}^2 = c_3 \cdot S_y^2; \\ S_{bij}^2 = c_4 \cdot S_y^2; \\ S_{bii}^2 = (c_5 + c_6) S_y^2. \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\begin{cases} S_{b0}^2 = c_7 \cdot S_y; \\ S_{bi}^2 = c_8 \cdot S_y; \\ S_{bij}^2 = c_9 \cdot S_y; \\ S_{bii}^2 = c_9 \cdot S_y. \end{cases} \quad (2.6)$$

Оскільки план типу k неортогональний, то після розрахунку довірчих інтервалів для цих коефіцієнтів і перевірки їх статистичної значимості виключення незначних коефіцієнтів b_0 , b_{ii} з моделі вимагає перерахунку b_0 , b_{ii} та їх дисперсій з урахуванням допоміжних констант c_i . Для перерахунку значущих коефіцієнтів b_0 , b_{ii} використовувались наступні формули:

$$b_o = c_1 \sum_{u=1}^N y_u - c_2 \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u, \quad (2.7)$$

$$b_{ii} = c_5 \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u + c_6 \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u - c_2 \sum_{u=1}^N y_u. \quad (2.8)$$

Коефіцієнт вважається статистично значущим, коли його абсолютна величина більше критичного значення або дорівнює йому.

$$|b_i| \geq b_{кр}. \quad (2.9)$$

Наступним етапом обробки експериментальних даних є перевірка гіпотези про адекватність моделі, тобто пошук відповіді на питання: можна використовувати отримане рівняння чи необхідна більш складна модель. Дану перевірку здійснюємо за допомогою F -критерію (критерію Фішера), розрахункове значення якого не повинно перевищувати табличного [71,78].

$$F^{розр} = \frac{S_{неад.}^2}{S_y^2} \leq F_{f_2; f_1}^{табл}, \quad (2.10)$$

де $S_{неад.}^2$ - дисперсія неадекватності.

$$S_{неад.}^2 = \frac{SS_{неад.}}{f_2} = \frac{n \sum (y_{zрозр} - y_{зексп})^2}{f_2}, \quad (2.11)$$

де $y_{зрозр}$ - значення відгуку в z -му досліді, що розраховується за рівнянням регресії;

$y_{\text{експ}}$ - значення відгуку в z-му досліді, отримане експериментальним шляхом;
 f_2 – кількість залишених коефіцієнтів рівняння.

Якщо $F^{\text{розр}} \leq F_{f_2; f_1}^{\text{табл}}$ отримана поліноміальна модель рівняння регресії адекватно визначає досліджувану закономірність [17].

2.5 Висновки до другого розділу

1. Розроблений програму та алгоритми проведення експериментальних досліджень, що передбачало дослідження процесу змішування компонентів комбікормової суміші, що становлять дисперсну систему.

2. У відповідності до програми досліджень для досягнення поставленої мети необхідно здійснити визначення якості процесу змішування при змінні конструктивних та режимних параметрів роботи вібраційного робочого органу з встановленням оптимальних параметрів його роботи.

3. Розроблена і виготовлена лабораторна установка, що реалізує процес змішування при використанні робочого органу, виконуючого вібраційний рух.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Аналіз експерименту по визначенню однорідності кормової суміші

Попередньо було висунуто припущення, що досліджувані функціональні залежності можуть бути описані поліномом другого ступеня

$$y = b_o + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i \leq j}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, \quad (3.1)$$

де y – критерій оптимізації;

x_i, x_j – кодоване позначення факторів;

b_o, b_i, b_j – коефіцієнт рівняння регресії;

N – кількість дослідів в експерименті.

Для отримання математичної моделі був використаний квазіоптимальний план Пісочинського, матриця планування та рівні варіювання якого наведено у попередньому розділі. Оцінка коефіцієнтів регресії, відтворюваності експериментів, перевірка адекватності моделі і т.д. проведені згідно з правилами, викладеними в [17] при рівні значимості $\alpha=0,05$. Математична обробка результатів експерименту проведено на ПК за допомогою прикладної програми Statistica (табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Вагомі коефіцієнти рівняння регресії

Вагомі коефіцієнти рівняння регресії					
b_0	b_1	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{22}
70	-4,5	3,6	7,3	2,8	4,9

Проведені експерименти у триразовій повторності на досліджуваному матеріалі дозволяють встановити взаємозв'язок між факторами варіювання та однорідністю кормової суміші. Використовуючи методики та засоби аналізу, зазначені у попередньому розділі, отримало наступне рівняння

$$\theta = 70 - 4,5x_1 + 3,6x_3 + 7,3x_1x_2 + 2,8x_1x_3 + 4,9x_2^2. \quad (3.2)$$

Перевірка апроксимованого рівняння (3.2) на адекватність за критерієм Фішера при 5%-ном рівні значущості показала, що розрахунковий $F_{розр} > F_{табл}$.

Отже, представлена математична модель адекватно визначає експериментальні дані.

За моделлю (3.2) можна зробити такі попередні висновки:

1. Як очевидно з рівняння регресії, вплив чинників x_1 ($A\omega^2/g$) і x_2 (h/D) на однорідність суміші більша, ніж вплив фактору x_3 (ωt), про що свідчать модулі коефіцієнтів при кожному з них. Коефіцієнти, значення яких більші за нуль (знак «+»), вказують на те, що між критерієм оптимальності та факторами при таких коефіцієнтах існує пряма залежність вказують на зворотний зв'язок з їх параметром.

2. Так як у моделі є коефіцієнти типу $4,88x_2^2$, $7,25x_1x_2$ та $2,75x_1x_3$, то модель має нелінійний характер. Як відомо, абсолютне числове значення коефіцієнта для взаємодії показує, наскільки зміниться швидкість зростання вихідного параметра залежно від однієї чинника, якщо інший зміниться від 0 до $|1|$.

3. У нашій моделі є дві взаємодії x_1x_2 і x_1x_3 . Звертає, у зв'язку з цим, увага фактор x_1 - коефіцієнт перевантаження. Його вплив залежить не тільки від самого себе як такого, а й від масштабного фактора, і від часу віброобробки.

Побудуємо, згідно з моделлю, вираженою рівнянням (3.2), перерізи поверхні відгуку для візуальної оцінки впливу того чи іншого параметра зміну однорідності суміші (рис.3.1).

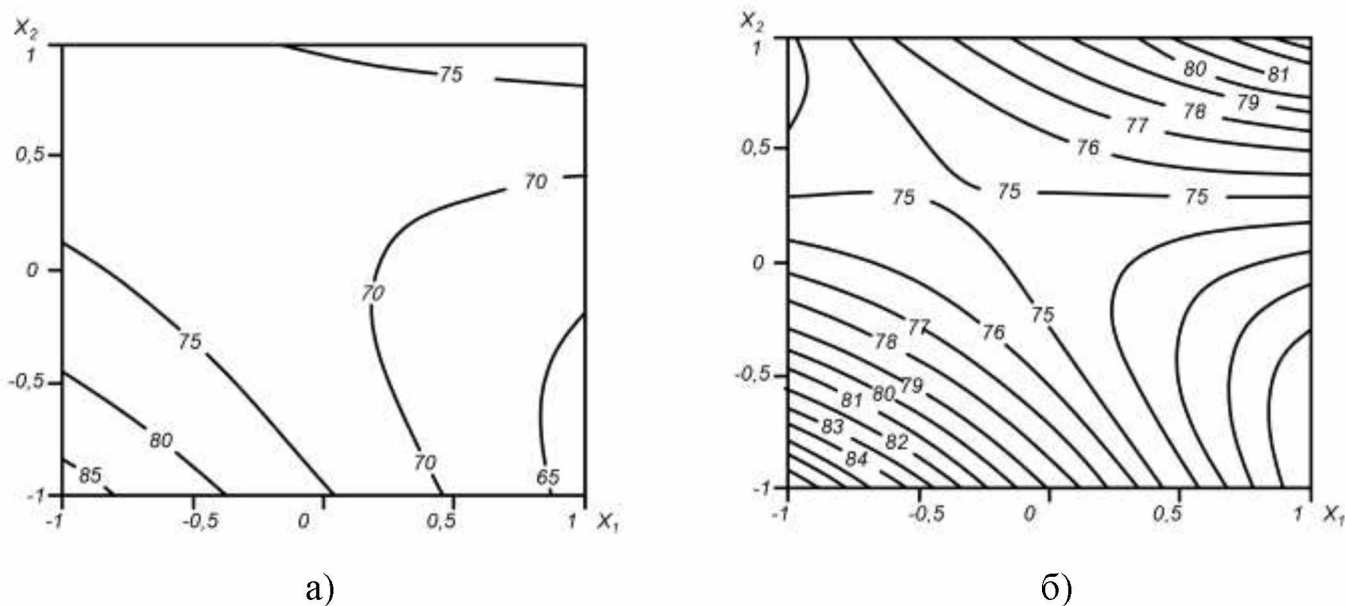


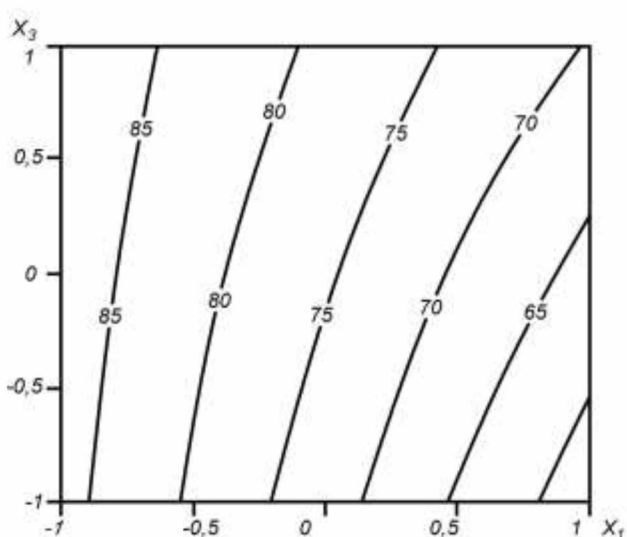
Рисунок 3.1 – Залежність однорідності кормової суміші θ (%) від коефіцієнта навантаження x_1 та масштабного фактору x_2 : а) $x_3=0$; б) $x_3 = 1$.

Проаналізуємо поведінку функції відгуку $\theta = f(x_1; x_2)$, тобто однорідності суміші від коефіцієнта навантаження та масштабного фактору.

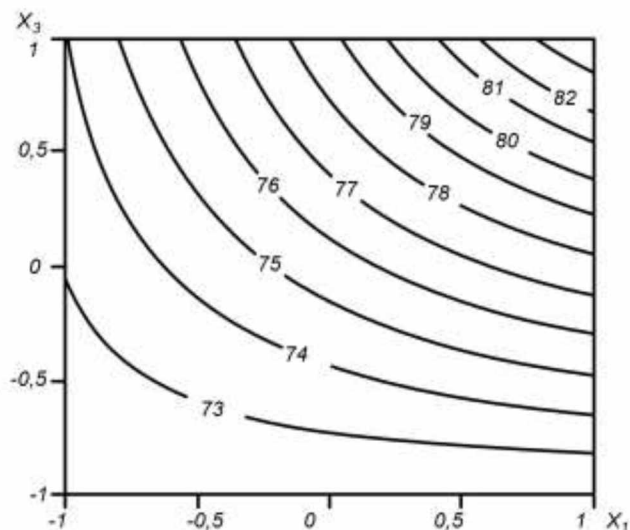
Як показує графічна залежність (рис. 3.1), при мінімальному значенні коефіцієнта навантаження $x_1 = -1$ та мінімальному значенні масштабного фактору $x_2 = -1$ досягається висока однорідність суміші. Справа в тому, що в даному режимі досягається стохастичне стан сипучого матеріалу, який дозволяє досягти високого однорідності суміші. Однак і за максимального значення коефіцієнта навантаження $x_1 = +1$ і максимальному значенні масштабного фактору $x_2 = +1$ теж досягається стохастичне стан сипучого матеріалу. Це не суперечить існуючим теоріям та експериментальним даним [17]. Отже, значення коефіцієнта навантаження істотно залежить від масштабного чинника. Таким чином, керувати динамічним станом сипучого матеріалу можна не лише однією зміною коефіцієнта перевантаження, а й масштабним чинником (h/D).

Аналіз перерізів показує, що доцільно використовувати поєднання факторів максимального значення коефіцієнта навантаження $x_1 = +1$ максимального значення масштабного фактора $x_2 = +1$, що призведе до збільшення продуктивності змішувача.

Проаналізуємо поведінку функції відгуку $\theta = f(x_1; x_3)$, тобто однорідності суміші від коефіцієнта навантаження та безрозмірного часу віброобробки (рис. 3.2).



а)



б)

Рисунок 3.2 – Залежність однорідності кормової суміші θ (%) від коефіцієнта навантаження x_1 та безрозмірного часу віброобробки x_3 : а) $x_2 = -1$; б) $x_2 = 1$.

Як показує графічна залежність (рис.3.2а), на зафіксованому рівні $x_2=-1$ видно, що з мінімальному значенні коефіцієнта навантаження $x_1=-1$ і максимальному значенні часу віброобробки $x_3=1$ спостерігається висока однорідність суміші. Це пов'язано з тим, що при даному поєднанні факторів інтенсивно протікає процес сумішоутворення, при якому можна отримати високу однорідність суміші. При максимальному значенні коефіцієнта навантаження $x_1=1$ та мінімальному значенні часу віброобробки $x_3=-1$ спостерігається низька однорідність суміші. При подальшому збільшенні часу віброобробки x_3 відбувається незначне зростання однорідності суміші. Це зумовлено тим, що при даному поєднанні факторів швидкість процесу сумішоутворення нижча, ніж швидкість процесу сегрегації, отже, отримуємо низьку однорідність суміші.

При аналізі графіка (рис. 3.2 б) на зафіксованому рівні $x_2=1$ видно, що з мінімальних значеннях коефіцієнта навантаження $x_1=-1$ і часу віброобробки $x_3=-1$ відбувається зменшення однорідності суміші.

Це з тим, що з максимальному значенні масштабного чинника $x_2=+1$ спостерігається детерміноване стан сипучого матеріалу.

Отже процес змішування йде не інтенсивно. Максимальне значення коефіцієнта навантаження $x_1=+1$ і максимальне значення часу віброобробки $x_3=+1$ призводить до збільшення однорідності суміші. Це пов'язано з тим, що із збільшенням коефіцієнта навантаження x_1 сипкий матеріал перетворюється на стохастичне стан. Таким чином, при збільшенні масштабного фактору необхідно водночас підвищувати коефіцієнт навантаження x_1 та час віброобробки x_3 .

Проаналізуємо далі поведінку функції відгуку $\theta = f(x_2; x_3)$, тобто однорідності суміші від коефіцієнта навантаження та безрозмірного часу віброобробки (рис. 3.3).

Як показує графічна залежність (рис. 3.3, а), на зафіксованому рівні $x_1=0$ видно, що з мінімальному значенні масштабного чинника $x_2=-1$ і максимальному значенні часу віброобробки $x_3=1$, спостерігається висока однорідність суміші. Також зростання однорідності суміші спостерігається при значенні масштабного фактору $x_2=1$ максимальне значення часу віброобробки $x_3=1$. Пов'язано це з тим, що процес змішування складається з двох процесів: процесу сумішоутворення та процесу

сегрегації. У даних режимах роботи змішувача інтенсивно протікає процес сумішоутворення, що і веде до збільшення однорідності суміші. Однак при значенні масштабного фактору $x_2=0$ швидкості процесу сегрегації перевершують швидкості процесу сумішоутворення, чим обумовлена низька однорідність суміші.

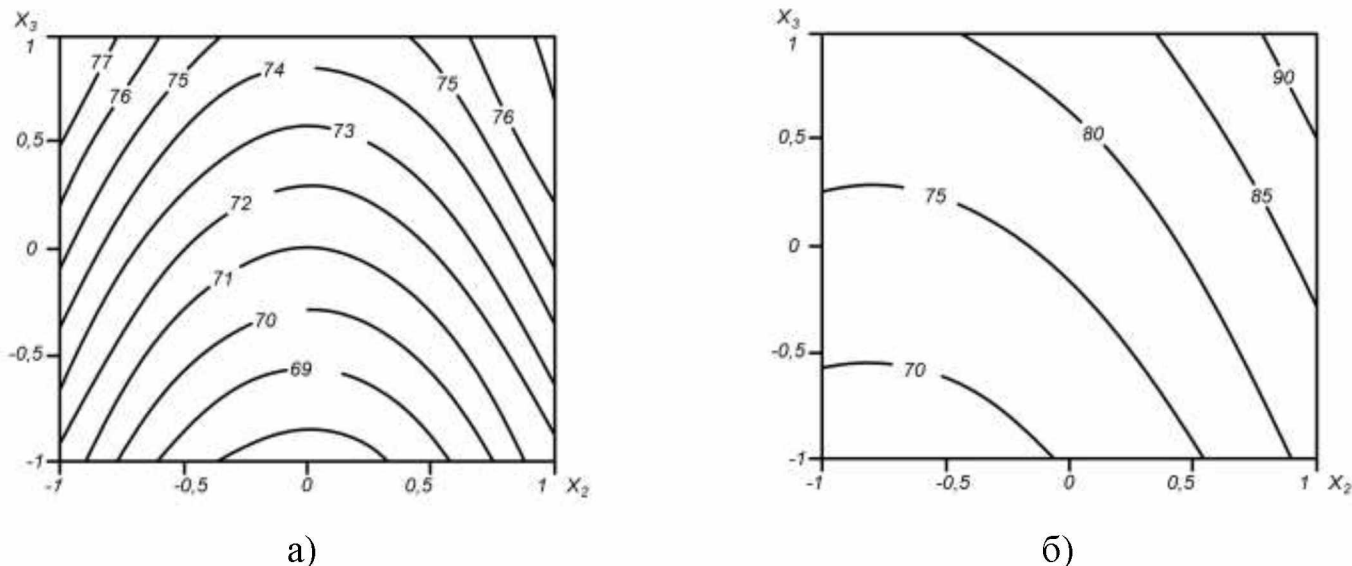


Рисунок 3.3 – Залежність однорідності кормової суміші θ (%) від масштабного фактора x_2 та безрозмірного часу віброобробки x_3 : а) $x_1=0$; б) $x_1=1$.

При аналізі графіка (рис. 3.3, б) на зафіксованому рівні $x_1=1$ видно, що з мінімальних значення масштабного чинника $x_2=-1$ і часу віброобробки $x_3=-1$ спостерігається низька однорідність суміші. При подальшому збільшенні часу віброобробки x_3 веде до незначного зростання однорідності суміші. Отже, у цьому режимі швидкості процесу сегрегації перевищують швидкості процесу сумішоутворення. При збільшенні значень масштабного фактора x_2 та часу віброобробки x_3 спостерігається зростання однорідності суміші. Така закономірність поведінки однорідності суміші пояснюється тим, що в даному режимі роботи змішувача інтенсивно протікає процес сумішоутворення.

3.2 Питома потужність, потрібна на змішування кормової суміші

На підставі методики обробки результатів, викладеної в попередньому розділі, була отримана регресійна модель у вигляді полінома другого ступеня, що адекватно описує питому потужність процесу змішування. Апроксимоване рівняння має такий вигляд:

$$N_{nut} = 12,3 + 3,7x_1 - 2,1x_2 + 0,6x_1^2 - 0,9x_1x_2 - 0,8x_2^2. \quad (3.3)$$

З аналізу рівняння регресії видно, що фактор x_3 (ωt) - безрозмірний час віброобробки виявився незначним. Це пов'язано з тим, що на початку процесу змішування і наприкінці питома потужність не змінювалася. Істотний вплив на питому потужність надає фактор x_1 ($A\omega^2 / g$) - коефіцієнт перевантаження, а менший вплив надає фактор x_2 (h / D) - масштабний фактор, на що вказує коефіцієнти при цих факторах. Побудуємо згідно з моделлю, вираженою рівнянням (3.3) переріз поверхні відгуку для візуальної оцінки впливу того чи іншого параметра на зміну питомої потужності процесу змішування N_{nut} (рис. 3.4).

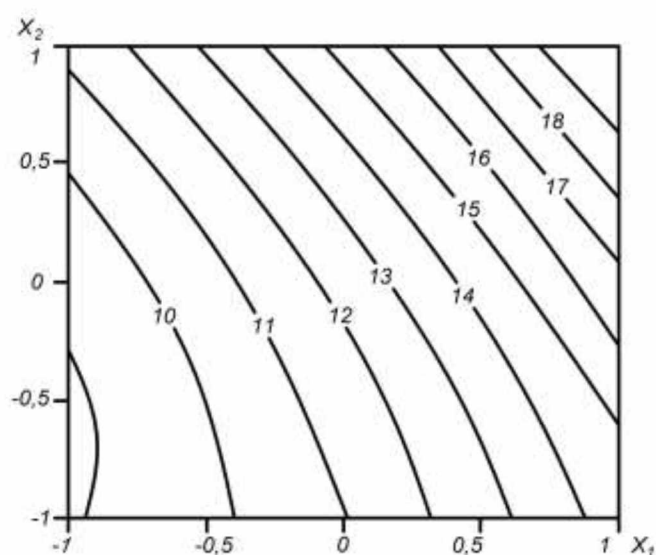


Рисунок 3.4 – Залежність питомої потужності N_{nut} (Вт/кг) від коефіцієнта навантаження x_1 та масштабного фактора x_2

Проаналізуємо поведінку функції відгуку $N_{nut} = f(x_1; x_2)$, тобто питомої потужності від коефіцієнта навантаження та масштабного фактора.

Як показує графічна залежність (рис. 3.4), при мінімальних значеннях коефіцієнта навантаження $x_1 = -1$ та масштабного фактора $x_2 = -1$ спостерігається мала питома потужність. Це тим, що менше параметри вібрації, тим менше енергії потрібно змішування кормової суміші. З підвищенням коефіцієнта навантаження та масштабного чинника спостерігається зростання питомої потужності, оскільки рух змішувача, при якому питома потужність має мале значення, не доцільно, оскільки якість кормової суміші не відповідатиме зоотехнічних вимог (95%). Також

завантаження змішувача в даному режимі буде мінімальним, а відповідно, продуктивність низька.

3.3 Залежність продуктивності змішувача від факторів процесу

На підставі методики обробки результатів, викладеної в розділі 3, була отримана регресійна модель у вигляді полінома другого ступеня, що адекватно описує продуктивність змішувача.

Рівняння регресії набуває наступної форми:

$$Q = 0.21 + 0.045x_2 - 0.04x_3 + 0.229x_2^2 - 0.128x_3^2. \quad (3.5)$$

З аналізу рівняння регресії видно, що фактор x_1 - коефіцієнт перевантаження виявився незначним. Пояснення цьому слід шукати у тому, що у вузьких межах, у яких варіювався цей чинник, не проявив себе. Істотний вплив на продуктивність змішувача має фактор x_2 - масштабний фактор, менший вплив має фактор x_3 - безрозмірний час віброобробки, на що вказують коефіцієнти при цих факторах.

Побудуємо згідно з моделлю, вираженою рівнянням (3.5), переріз поверхні відгуку для візуальної оцінки впливу того чи іншого параметра на зміну продуктивності змішувача Q (рис. 3.6).

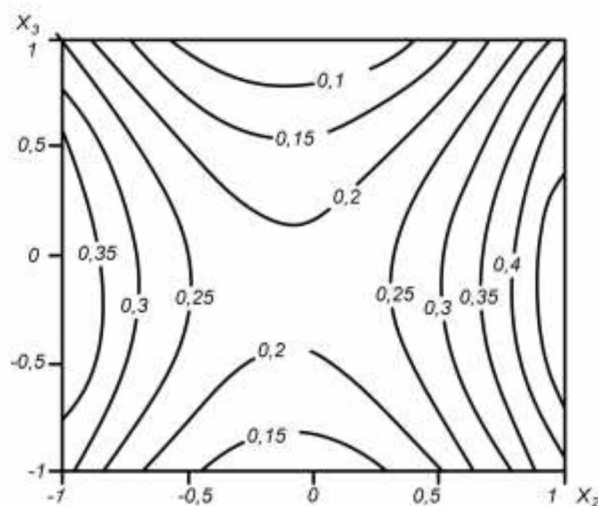


Рисунок 3.6 – Залежність продуктивності змішувача Q (т/год) від масштабного фактора x_2 та безрозмірного часу віброобробки x_3

Проаналізуємо поведінку функції відгуку $Q = f(x_2; x_3)$, тобто. продуктивності змішувача від масштабного фактора h/D та безрозмірного часу віброобробки ωt .

Як показує графічна залежність (рис. 3.6), при мінімальних значеннях масштабного фактора $x_2 = -1$ та безрозмірного часу віброобробки $x_3 = -1$ спостерігається низька продуктивність змішувача.

Це тим, що висота завантаження змішувача мінімальна, відповідно, продуктивність змішувача також низька. Зі збільшенням масштабного фактора $x_2 = 1$ та зменшенням безрозмірного часу віброобробки спостерігається підвищення продуктивності змішувача. Це з тим, що висота завантаження змішувача максимальна, а мале безрозмірного часу віброобробки відповідно до збільшення числа циклів змішування.

3.4 Вирішення багатокритеріального завдання

Розв'язок передбачає виконання двох етапів – апроксимації структури переваг та вибір оптимуму. При порівнянні будь-яких двох недовідомих критеріїв проблеми, що з'являються в тому, що один з варіантів краще за одним визначальним критерієм і гірше за іншими [2,15].

Для визначення раціональних значень факторів, які задовольняли б усім трьом критеріям оптимальності θ (однорідність кормової суміші), N_{num} (питома потужність), Q (продуктивність змішувача) вирішували багатокритеріальну задачу.

Для її вирішення використовуємо метод згортання критеріїв на основі вагових коефіцієнтів [17]. Його сутність полягає в тому, що цільова функція утворюється шляхом складання нормованих значень приватних критеріїв оптимальності, що входять до цільової функції J з деякою вагою α , що визначає важливість кожного критерію. Інакше кажучи, комплексний критерій набуває вигляду:

$$J = \sum_{i=1}^n \alpha_i \psi_i \rightarrow \max \quad \alpha_i > 0 \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (3.7)$$

де $\alpha_i = \frac{\partial J}{\partial \psi_i}$ – ваговий коефіцієнт i -го приватного критерію;

ψ_i – нормоване значення цього критерію.

Нормування (кодування) значень критеріїв оптимальності проводиться за такою формулою:

$$\psi_i = \frac{W_i - W_{i\min}}{W_{i\max} - W_{i\min}}, \quad (3.8)$$

де W_i – натуральне значення i -го часткового критерію;

$W_{\min}, W_{\max}$ - очікувальні нижній та верхній рівень варіювання частого критерію в оптимізаційній задачі.

Слід також звернути увагу на те, що до цільової функції (3.8) приватні критерії, які можна максимізувати, входять зі знаком «+», а ті, які потрібно мінімізувати – зі знаком «-» (згадаємо, що якщо $W_i \rightarrow \min$, то - $W_i \rightarrow \max$) [17].

У разі нормування простіше провести, оперуючи рівняннями регресії, по-іншому. Згадаймо, що вільний член рівняння регресії є середнім значенням критерію оптимальності (тобто при $x_1=x_2=\dots x_i=0$). Тому, якщо розділити кожен із членів рівняння регресії на b_0 , то отримаємо, що у кожному рівнянні регресії нормований критерій оптимальності змінюватиметься близько значення 1.

Наприклад, для рівняння регресії (3.2) однорідності кормової суміші нормування призведе до результату:

$$W_\theta = \frac{\theta(x_i)}{b_o(\theta)} = 1 - 0.067x_1 + 0.051x_3 + 0.102x_1x_2 + 0.038x_1x_3 + 0.067x_2^2. \quad (3.9)$$

Аналогічно отримаємо нормовані значення для інших критеріїв оптимальності:

$$W_{N_{num}} = \frac{N_{num}(x_i)}{b_o(N_{num})} = 1 + 0.98x_1 - 0.17x_2 + 0.052x_1^2 - 0.077x_1x_2 - 0.063x_2^2, \quad (3.10)$$

$$W_{Q_{num}} = \frac{Q(x_i)}{b_o(Q)} = 1 + 0.205x_1 - 0.18x_3 + 1.081x_2^2 - 0.614x_3^2. \quad (3.11)$$

Маючи нормовані значення функцій, можна скласти цільову функцію:

$$W = \alpha_\theta W_\theta(x_i) - \alpha_N W_N(x_i) + \alpha_Q W_Q(x_i), \quad (3.12)$$

де $\alpha_\theta, \alpha_N, \alpha_Q$ - вага (важливість) кожного критерію оптимальності.

В результаті проведених експериментальних досліджень запропонованого змішувача отримані значення по однорідності кормової суміші, питомої потужності та продуктивності змішувача піддані порівнянню запропонованим методом.

Для відбору найкращого варіанта вібраційного змішувача потрібно призначити коефіцієнт ваги i для кожного критерію. Розповсюджений метод – встановлення коефіцієнтів ваги із залученням експертів, який є, по суті, звичайним обговоренням з тією лише різницею, що свою думку експерти висловлюють не словами, а цифрами.

При безпосередньому призначенні коефіцієнтів ваги експерт надає оцінку порівняльної вагомості аналізованих критеріїв, які входять у цільову функцію. У цьому методі кожен експерт i -го критерію повинен встановити коефіцієнт ваги α_i , щоб сума всіх коефіцієнтів ваги, що було визначено одним експертом для різних критеріїв, дорівнювала одиниці.

Таблиця 3.2 - Експертні оцінки та їх обробка

Експерт	Критерій оптимальності			Сума
	θ	Q	$N_{\text{пит}}$	
1	0,7	0,24	0,04	1
2	0,74	0,18	0,05	1
3	0,74	0,18	0,05	1
4	0,7	0,23	0,05	1
5	0,7	0,23	0,05	1
6	0,64	0,27	0,04	1
7	0,74	0,18	0,05	1
8	0,7	0,24	0,04	1
9	0,7	0,24	0,04	1
Середнє значення коефіцієнту ваги, α	0,7	0,22	0,05	
Середнє квадратичне відхилення, s	0,03	0,03	0,004	
Коефіцієнт варіації, v	0,04	0,14	0,08	

Середнє за усіма експертами арифметичне значення коефіцієнту ваги для кожного критерію оптимальності:

$$\alpha_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k a_{ij}, \quad (3.13)$$

де k – кількість експертів.

Середнє квадратичне відхилення для кожного коефіцієнту ваги:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (a_{ij} - a_i)^2}{k-1}}. \quad (3.14)$$

Коефіцієнт варіації:

$$v = \frac{S_i}{\alpha_i}. \quad (3.15)$$

Значення коефіцієнтів варіації надає опис величини розкиду експертних оцінок. При $v < 0,2$ оцінки експертів вважатимуться узгодженими. У разі $v > 0,2$ доцільніше провести з експертами обговорення значимості параметрів, що оцінюються, після чого повторити експертизу.

З урахуванням отриманих даних цільова функція набуде вигляду:

$$\begin{aligned} W = & 0.7(1 - 0.067x_1 + 0.051x_3 + 0.102x_1x_2 + 0.038x_1x_3 + 0.067x_2^2) + \\ & + 0.21(1 + 0.205x_1 - 0.18x_3 + 1.081x_2^2 - 0.614x_3^2) - \\ & - 0.055(1 + 0.98x_1 - 0.17x_2 + 0.052x_1^2 - 0.077x_1x_2 - 0.063x_2^2) \rightarrow \max \end{aligned} \quad (3.16)$$

Максимізація даної функції здійснювалась чисельним методом в середовищі Mathcad.

На основі отриманих результатів умовні оптимальні фактори набувають значення, що відображаються у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Умовні оптимальні значення факторів

x_1	x_2	x_3
1,1	1,1	0,098
35,5	1,1	54040

З отриманих оптимальних параметрів обраних факторів можна скласти таблицю значень критеріїв оптимізації, при яких можна отримати максимальну однорідність кормової суміші, максимальну продуктивність змішувача при мінімальній питомій потужності.

Таблиця 3.4 - Умовні оптимальні значення процесу змішування

θ (%)	$N_{\text{шт}}$ (Вт/кг)	Q (т/год)
95	8,8	0,46

3.5 Висновки до третього розділу

1. У ході проведення експерименту було встановлено, що найбільший вплив на якість кормової суміші надають наступні фактори: коефіцієнт перевантаження, відношення висоти шару до діаметра камери змішування і безрозмірний час віброобробки.

2. Експериментально встановлено та доведено, що використання стохастичного режиму змішування є більш ефективним з точки зору якості одержуваної кормової суміші та часу протікання процесу змішування.

4. Експериментальні дослідження дозволили отримати регресійні графічні залежності, за допомогою яких можна легко знайти необхідні характеристики вібраційного змішувача для досягнення бажаної якості кормової суміші.

5. При вирішенні багатокритеріальної задачі оптимізації однорідності кормової суміші, питомої потужності та продуктивності вібраційного змішувача отримано його раціональні параметри: коефіцієнт перевантаження $A\omega^2/g = 35,5$; масштабний фактор $h/D = 1,2$; безрозмірний час віброобробки $\omega t = 54050$.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Екологічна експертиза

З метою уникнення виникнення негативних наслідків для навколишнього середовища при розробці та впровадження різних технічних або технологічних систем здійснюється їх екологічна експертиза, спрямована на перевірку їхньої відповідності принципам і правилам охорони навколишнього середовища та ефективного природовикористання.

До основних задач екологічної експертизи можна віднести: науково-обґрунтоване визначення ступеня відповідності розроблених рішень згідно діючих екологічних норм перед їх затвердженням у профільних державних органів з питань екології та раціонального природокористування; уникнення або зменшення вірогідності негативного впливу на екологічну систему вже існуючих чи запроектованих виробничих об'єктів.

Основними видами екологічної експертизи є державна та громадська. Її проведення та прийняття до уваги складених на її основі висновків є необхідною умовою законної роботи виробничих об'єктів або інших форм діяльності, які потенційно можуть чинити вплив на стан навколишнього середовища. Законодавчою базою здійснення екологічної експертизи є два нормативно-правових документа: Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» затверджений Верховної Радою України 25 червня 1991 року та прийнятий 9 лютого 1995 Закон України «Про екологічну експертизу» [9,10].

В основу екологічної експертизи покладений принцип гармонійного взаємозв'язку між екологічними та економічними інтересами, чіткого дотримання державних та законодавчих норм і правил у природоохоронній сфері.

Громадська експертиза може бути здійснена у довільній сфері діяльності, що потребує надання обґрунтованих висновків про екологічну безпеку реалізації того чи іншої проекту, за ініціативною різних форм громадських організацій та формувань. Даний вид експертизи може проводитися паралельно з державною експертизою

шляхом створення на добровільній основі симбіозу постійних або тимчасових експертних об'єднань громадських колективів.

Об'єкт даної екологічної експертизи – процес вібраційного змішування сипкого матеріалу.

Даний технологічна операція за своєю потенційною загрозою для навколишнього середовища відноситься до найбільш безпечніших та екологічно чистих видів виробничої діяльності. Це обумовлено мінімально низькою кількістю викидів забруднюючих речовин, що утворюються внаслідок реалізації технологічного процесу лушення зерна.

Основним джерелом забруднення для даної операції є викиди в атмосферу зважених гігроскопічних частинок або пилу, які спрямовуються в повітряний басейн з аспіраційних очищувальних систем та систем вентиляції повітря з виробничих приміщень. Відповідно до прийнятих на законодавчому рівні гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин в атмосферному повітрі кількість зважених частинок повинна коливатися в межах 0,05...0,5 мг/дм³.

Для запобігання перевищенню рівня концентрації пилу в повітрі необхідно постійно проводити контроль за технічним станом вентиляційного обладнання, періодично проводити моніторинг якості повітря, запровадити систему пиловідкремлюючих засобів для очищення повітряного потоку.

Негативним наслідком надмірного перевищення концентрацій пилу в повітрі є можливість виникнення вибухо- та пожежонебезпечних ситуацій на виробництві.

До заходів щодо запобігання та локалізації пилових вибухів відносяться:

- суворе дотримання технологічної дисципліни, правил, положень та виробничих інструкцій;
- підтримання технологічного, електротехнічного, транспортного і допоміжного устаткування в технічно справному стані;
- зберігання сировини в тих складах та бункерах, які для цього призначені;
- герметизація обладнання і комунікацій;
- ефективна робота аспіраційних мереж;

- систематичне прибирання пилу з підлоги, стін, обладнання, будівельних конструкцій;
- найсуворіше виконання правил ведення робіт з відкритим вогнем, у тому числі зварювальних;
- неухильне дотримання режиму куріння (тільки у відведених місцях);
- захист від статичної електрики.

Запропонований технологічний процес характеризується поєднанням значної кількості виробничого обладнання, яке є джерелом надмірного шуму та вібрацій. Для зниження рівня шуму до санітарно-гігієнічних норм передбачаємо використання спеціальних шумо- та вібраційнопоглинальних подушок, що встановлюємо під технологічне обладнання, а також застосування операторами індивідуальних засобів захисту - протишумних навушників.

Кількість стічних вод (виробничого і господарсько-побутового характеру), що утворюються в процесі виробничого процесу, не є критичною та особливо небезпечною для забруднення ґрунту чи водойм, але для зниження вірогідності такого зараження передбачаємо застосування комплексу заходів по обробці цих стоків через механічні, хімічні та біологічні очисники.

У зв'язку з високим рівнем забрудненості стічних вод необхідно виконати:

а) відведення оборотних вод із системи мийки автомобілів готової продукції на очисні споруди виробничих стоків;

б) передбачити заходи щодо очищення поверхневих стічних вод перед скиданням у відкритті водоймища до допустимих ГДК;

в) для забезпечення нормативних вимог можлива доочищення поверхневих (дошових, талих, поливомийні) стічних вод з території об'єкта після локальних очисних споруд дошового стоку перед скиданням у водоймища з використанням водовідвідної канами в якості споруд природного біологічного очищення.

Таким чином, якщо всі вище перелічені заходи будуть виконуватися належним чином, то технологічний процес буде екологічним і не матиме негативного впливу на оточуюче навколишнє середовище або буде зведено до мінімуму.

4.2 Охорона праці

4.2.1 Актуальність проблеми охорони праці у виробничому середовищі

Для новітнього суспільства притаманно користуватися великою кількістю технічних засобів, що полегшують та задовольняють життєві потреби людини. Дані засоби з постійним своїм розвитком все більше стають автоматизованими та енергонасиченими. Але при цьому центральним суб'єктом будь-якої технічної системи є людина, що здійснює експлуатацію, обслуговування, управління та контроль над технічними засобами даної системи [12].

Діяльність людини тісно пов'язана з його фізичним існуванням. Так, на трудову діяльність людини у виробничому середовищі та побуті припадає значна частка його життя за деякими даними вона становить 50%. Зважаючи на доволі значний відсоток своєї зайнятості на виробництві зростає вірогідність отримання травм та опинитися в небезпечних ситуаціях, що можуть загрожувати його життю або фізичному здоров'ю.

Трудова діяльність у виробничій сфері – вид виробничої діяльності, для якої характерно наявність значного рівня небезпеки, що обумовлено насиченістю на виробництві різних енергоємного обладнання та устаткування. З аналізу виробничих травм, аварій, профзахворювань, нещасних випадків з різними наслідками встановлено, що головною причиною їх виникнення є недотримання або нехтування правил охорони праці, що обумовлено відсутністю ґрунтовних знань про безпеку роботи у виробничому середовищі. При цьому одним із головних чинників у виникненні більшості небезпечних ситуацій є, беззаперечно, неправильна поведінка людина у трудовій своїй діяльності [3].

Для виробничої діяльності притаманне дефініція – виробнича безпека. Безпека праці визначається сукупністю заходів захисту людини від небезпечних ситуацій, які виникають в робочому середовищі в певному виробничому процесі або технічному об'єкті. Безпека життєдіяльності у виробничій сфері може бути позначена поняттям – охорона праці. Під цим поняттям слід розуміти систему нормативно-правових актів, організаційних, технічних, економічних, гігієнічних підходів та засобів, що сприяють

безпеці праці, збереження працездатності людини та її здоров'я у виробничій сфері. Безпека праці обумовлена застосуванням методів та засобів виробничої санітарії виробничої безпеки та гігієни праці.

Охорона праці покликана вирішувати декілька завдань: виокремлення потенційно небезпечних та шкідливих факторів у виробничій сфері, розробка пропозицій та рекомендацій щодо створення запобіжників від появи та розвитку небезпечних та шкідливих виробничих факторів, визначення пропозицій щодо організаційних підходів до забезпечення безпеки праці та керування охороною праці на виробничих об'єктах, чітке формування плану дій при появі небезпек. З виникненням небезпеки умови праці повинні бути так організовані, щоб уникнути негативного впливу на працюючих. Але на практиці це часто не є повністю досяжним або економічно виправданим. Зважаючи на цей факт, при проектуванні новітнього устаткування або обладнання намагаються створити найбільш безпечні машини, прилади, технічні засоби, щоб мінімізувати ризик появи небезпечних ситуацій чи аварій. Діючі нормативи безпеки розрізняються на: гранично допустимі концентрації шкідливих речовин хімічної або біологічної природи у повітряному, водяному та інших середовищах; гранично допустимі рівні впливу шкідливих виробничих факторів фізичної природи походження, серед яких виділяють – вібрація, шум, електромагнітні, електростатичні, термічні випромінювання, а також звукові випромінювання різного частотного та амплітудного діапазону [3].

Основою законодавчої бази України у галузі охорони праці та безпеки виробничих процесів є Закон України «Про охорону праці», Конституція України, зведена збірка законів про працю, а також створенні на їх основі ряд нормативно-правових документів і відомчих і внутрішновиробничих правил та норм [6].

4.2.2 Організація безпечного виконання робіт відповідно до правил на всіх етапах трудових, виробничих і технологічних процесів

Реалізація виробничого процесу змішування комбікормової суміші пов'язано з використанням значної кількості технологічних машин та технічного обладнання, зокрема бункерів для зберігання сировини та готової продукції, підйомно-

транспортних засобів та машин, енергоємні машини з поверхневої обробки зерна. Усі перелічені машини є потенційним джерелом виникнення небезпечних ситуацій, що може негативним чином призвести до отримання різних видів травм та ушкоджень робітників, що обслуговують та контролюють їх роботу.

Для упередження появи небезпечних та шкідливих ситуацій при здійсненні виробничого процесу приведемо перелік примітивних заходів та підходів, що виключають їхню появу або мінімізують наслідки від їх виникнення та розвитку.

Накопичувальні ємності, бункери та силоси, слід закривати суцільним покриттям з обладнанням в них завантажувальних лазів із обмежувальними ґратами, що герметично закриваються та зачиняються на замок.

Усі бункера повинні бути обладнані аспіраційним обладнанням та іншим застосуванням, що упереджає викиди запиленої маси повітря при їх завантаженні зерном, готовою продукцією або іншими сипучими матеріалами.

Проведення моніторингу температури продуктів у силосах повинен здійснювати із залученням стаціонарних чи мобільних засобів термометрування. Опускатися всередину силосів категорично не допускається.

Не допускається одночасне здійснення операцій зі завантаження зерна в металеві ємності та його вивантаження з неї, а також паралельне здійснення дій, спрямованих на завантаження, вивантаження та аерації.

Усі операції, що проводяться на складах по зберіганню сипкого матеріалу, повинні бути повністю механізовані та здійснюватися у відповідності до технологічного процесу.

Розвантаження та завантаження зерна або продуктів його переробки здійснюють в механічний спосіб за використанням підйомно-транспортного обладнання згідно вимог Правил охорони праці під час завантажувально-розвантажувальних робіт.

Вантажі, що переносяться масою більше 80 кг в упаковці в горизонтальному спрямуванні, під кутом чи вздовж вертикалі застосовують спеціальні машини. У випадку переміщення вантажу по похилій поверхні, її ухил не повинен бути більше

1:3 при висоті підйому не більше 3 м. При потребі переміщення вантажу по вертикалі на висоту 3 м здійснюється в механічний спосіб.

Устаткування, в якому здійснюється механічний рух конструктивних елементів, повинно буде сконструйовано таким чином, щоб уникнути появи іскріння при терті або ударі деталей машин між собою.

Технологічне обладнання повинно бути заземлене для недопущення появи на його зовнішній поверхні корпусу зарядів електростатики в небезпечних кількостях.

Рухомі елементи виробничого обладнання повинно бути закрито від вільного доступу до них спеціальними захисними кожухами.

Живильні бункера оснащуються пристосуванням, що запобігають зависанню матеріалу, що завантажується. В період активного завантаження категорично не допустимо очищати завали матеріалу над рухомими елементами живильників.

Запуск обладнання після зупинки на чергове технічне обслуговування або ремонт виконується після проведення пусконаладжувальних робіт. Обладнання перевіряється на: правильність компонування та надійне закріплення конструктивних елементів, відсутність в обладнанні предметів, що не є складовими конструкції машини, функціонування змащувальних систем, повноцінне комплектування гнучких механічних передач, справність та наявність необхідного захисного огороження, справний стан запірних та герметизуючих кришок, люків, пристроїв, узгоджене за електричними характеристиками запобіжної автоматики зі споживачами електричної енергії, що живляться через цю автоматику.

Транспортне, аспіраційне, технологічне обладнання та самопливне трубопроводи маркують у відповідності до технологічної схеми. Написи повинні бути чітко відтворенні та розташовуватися у видних місцях.

Змішувальний верстат повинен бути встановлений на віброізолюючих підставках.

Не допускається запуск змішувального верстату з прибраними головками, не роботоздатними натяжними засобами, без абразивних кругів, з недостатньо надійним кріпленням абразивних робочих органів.

Робочі органи не повинні містити тріщини чи інших механічних пошкоджень. Обертальні робочі елементи попередньо балансують як окремо, так і разом з привідними ротором.

Не припустимо ловити руками сторонні предмети, що потрапляють у робочу область верстата, до повноцінної зупинки верстату. Для виконання очищення технологічних зазорів між засувкою та робочими органами використовують спеціальні скребки.

Рівень шуму у виробничих приміщеннях не повинен бути перевищений за гранично допустимий рівень, вказаний у відповідних санітарних нормах. У відповідності до згаданих норм температура повітря в приміщенні повинна перебувати в межах 19-23°C, швидкість повітря – 0,5...0,9 м/с, показник відносної вологості – 30-70%.

Приміщення з розташованим технологічним обладнанням відноситься до категорії особливої небезпеки застосуванням електроустановок. Усе електротехнічне обладнання повинно бути ізольоване, мати надійне заземлення, захищене огорожувальними щитками. Кожна установка обладнується пускачем з кнопками «Пуск» та «Стоп» з відповідним кольоровим позначенням.

4.2.3 Розробка комплексу організаційних та технічних заходів з охорони праці та пожежної безпеки

Робітник в процесі реалізації покладених на його професіональних обов'язків повинен :

- знати будову та правила експлуатації обладнання, яке знаходиться під його керуванням та обслуговуванням;
- знати призначення окремих складових одиниць та елементів будови;
- знати технологічний процес теплової обробки зерна під час проведення ГТО;
- здійснювати контроль за режимними параметрами роботи обладнання, аспірації, припливно-витяжної вентиляції, теплоносія, роботу засобів автоматики і блокування;
- правильно використовувати спецодяг та засоби індивідуального захисту;

- знати підходи до надання першої медичної допомоги при виникненні нещасних випадках;
- відповідати за роботу на своїй ділянці.

Обслуговуючий персонал відповідно до прийнятих норм забезпечення спецодягом та засобами індивідуального захисту повинен мати:

- костюм з бавовняного матеріалу з пилонепроникної тканини (ГОСТ 12.4.085-80, ГОСТ 12.4.086-80);
- шоломом бавовняним з пилонепроникної тканини;
- черевиками шкіряними;
- рукавицями бавовняними;
- респіратором;
- в холодну пору року - курткою на утеплювальній прокладці (ГОСТ 12.4.088-80).

Працівник, який обслуговує технологічне обладнання, зобов'язаний знати і дотримуватися:

- посадової інструкції;
- правила пожежної безпеки;
- правила особистої гігієни.

Для покращення умов виробничої безпеки та недопущення появи небезпечних ситуацій слід передбачити такі заходи з охорони праці:

1. При боротьбі з надмірним пиловиділенням:

- раціональне поєднання технологічних процесів з мінімальними викидами пилоутворюючих компонентів в повітряне середовище;
- проведення вологого знепилення робочих зон;
- підтримання в чистоті приміщень та технологічного обладнання;
- застосування індивідуальних засобів захисту.

2. Для боротьби з шумовим ефектом:

- використання змащувально-мастильних матеріалів, що таке сприяє зменшенню зносу та збільшення ресурсу роботи;

- організаційно-технічні заходи щодо дотримання системи профілактичного огляду, проведення технічного обслуговування та ремонту обладнання;

- спланувати оптимальне співвідношення періодів роботи та відпочинку.

3. Для запобігання появи нещасних випадків та аварійних ситуацій продовжувати превентивні заходи:

- отримувати консультативні послуги з питань охорони праці;
- отримувати аргументовані роз'яснення щодо правильних підходів до експлуатації технологічного обладнання, що вводиться до роботи та вже встановленого;

- проведення періодичних перевірок рівня знань робітників з правил охорони праці на робочих місцях.

Для поліпшення стану виробничої безпеки та уникнення аварій і нещасних випадків під час здійснення виробничого процесу слід також звертати пильну увагу на внутрішніх організаційних документи виробничого підприємства.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Розроблений технічний засіб для змішування кормової суміші пропонується використовувати замість вже існуючої технологічної машини з причини більшої продуктивності та якості вихідної продукції.

Доцільність впровадження технічного засобу визначається по порівнянні з існуючим за наступними показниками: капітальні вкладення, продуктивність, затрати праці та засобів на виробництво та окупність нового обладнання.

Витрати на виготовлення конструкції та складання засобу розраховуємо за формулою [13]:

$$C_{в.к} = C_{од} + C_{нд} + C_{пр} + C_{кд} + C_{зв}, \quad (4.1)$$

де $C_{од}$ – вартість виготовлення оригінальних деталей, грн.;

$C_{нд}$ – вартість покупних деталей, виробів, агрегатів, грн.;

$C_{пр}$ – повна заробітна плата, грн.;

$C_{кд}$ – вартість виготовлення корпусних деталей, грн.;

$C_{зв}$ – загальні виробничі витрати, грн.

Вартість виготовлення оригінальних деталей визначаємо за формулою [13]

$$C_{од} = C_{зн.нов} + C_{мз}, \quad (4.2)$$

де $C_{зн.нов}$ – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих на виготовленні оригінальних деталей, грн.;

$C_{мз}$ – вартість матеріалу для виготовлення оригінальних деталей.

Повну заробітну плату підраховуємо за формулою [13]:

$$C_{зн.нов} = C_{нр} + C_{д} + C_{соц}, \quad (4.3)$$

де $C_{нр}$ і $C_{д}$ – основна і додаткова заробітна плата виробничих працівників, грн.;

$C_{соц}$ – відрахування із заробітної плати на соціальне забезпечення, грн.

Основну заробітну плату розраховуємо за формулою [13]

$$C_{нр} = t_{ср} \cdot C_{год} \cdot K_{д}, \quad (4.4)$$

де $t_{ср}$ – середня продуктивність виготовлення оригінальних деталей, приймаємо 8 годин;

$C_{год}$ – годинна ставка робітників, приймаємо $C_{год} = 20$ грн.;

$K_{д}$ – коефіцієнт доплати, приймаємо $K_{д}$.

$$C_{нр} = 8 \cdot 20 \cdot 1,2 = 192 \text{ грн.}$$

Додаткову заробітну плату розраховуємо за формулою [13]:

$$C_{д} = \frac{(5 \dots 12) \cdot C_{нр}}{100}, \quad (4.5)$$

Отже,

$$C_{д} = \frac{10 \cdot 192}{100} = 19,2 \text{ грн.}$$

Нарахування в фонд соціального страхування, в фонд безробіття і в пенсійний фонд визначаємо із виразу [13]

$$C_{соц} = \frac{k \cdot (C_{нр} + C_{д})}{100}, \quad (4.6)$$

де k – сумарний коефіцієнт нарахування на соціальне страхування, в пенсійний фонд і фонд безробіття.

$$C_{coy} = \frac{37 \cdot (192 + 19.2)}{100} = 78,14 \text{ грн.};$$

$$C_{зп.нов} = 192 + 19.2 + 78,14 = 289.34 \text{ грн.}$$

Вартість матеріалу для виготовлення оригінальних деталей визначаємо за формулою [13]:

$$C_{мз} = C_3 \cdot Q_3, \quad (4.7)$$

де C_3 – ціна кілограму матеріалу заготовок, приймаємо $C_3 = 50$ грн;

Q_3 – маса заготовки, приймаємо 10 кг.

$$C_{мз} = 50 \cdot 10 = 500 \text{ грн.}$$

Отже, вартість виготовлення оригінальних деталей складе

$$C_{од} = 289.34 + 500 = 789,34 \text{ грн.}$$

При вдосконаленні технічного засобу необхідно деталі до електроприводу, кріпильні елементи. Загальна вартість покупних деталей складає біля 3000 грн.

Вартість виготовлення корпусних деталей [13]:

$$C_{кд} = Q \cdot C_{нд}, \quad (4.8)$$

де Q – маса матеріалу, що використали на виготовлення корпусних деталей, орієнтовно приймаємо $Q = 20$ кг;

$C_{ц}$ – середня вартість 1кг матеріалу $C_{ц} = 80$ грн.

$$C_{кд} = 20 \cdot 80 = 1600 \text{ грн.}$$

Повну заробітну плату виробничих працівників, які зайняті на збиранні конструкції підраховуємо за формулою:

$$C_{зб} = T_{зб} \cdot C_{зод} \cdot K_d, \quad (4.9)$$

де $T_{зб}$ – нормативна трудомісткість збирання конструкції, год. [13];

$$T_{зб} = K_c \cdot \sum t_{зб}, \quad (4.10)$$

де K_c – коефіцієнт, який враховує співвідношення між новим і оперативним часом збирання, $K_c = 1,08$;

$\sum t_{зб}$ – сумарна трудомісткість збирання складових частин конструкції, год.

$$\sum t_{зб} = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \cdot t_i + \dots + m_n \cdot t_n)}{t_{зб}}, \quad (4.11)$$

де $m_1 \dots m_n$ – маса складових частин пристосування, кг;

$t_1 \dots t_n$ – час для збирання окремих складових частин пристосування, год.

$$\sum t_{зб} = \frac{10 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 12 \cdot 0,5}{3,5} = 9,71 \text{ год}$$

$$T_{зб} = 1,08 \cdot 9,71 = 10,49 \text{ год.};$$

$$C_{зб} = 10,49 \cdot 20 \cdot 1,2 = 251,79 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата

$$C_{д.зп} = \frac{10 \cdot 251,79}{100} = 25,18 \text{ грн}$$

Нарахування у фонд соціального страхування, у фонд безробіття і в пенсійний фонд визначаємо із виразу (4.6):

$$C_{соц} = \frac{37 \cdot (251,79 + 25,18)}{100} = 102,48 \text{ грн.};$$

$$C_{зн.зб} = 251,79 + 25,18 + 102,48 = 379,45 \text{ грн.}$$

Загальні виробничі витрати на виготовлення пристосування вираховуємо за формулою [13]:

$$C_{зв.} = \frac{C_{пр} \cdot R_{он}}{100}, \quad (4.12)$$

де $C_{пр}$ – основна заробітна плата працівників, які беруть участь у виготовленні конструкції, грн.;

$R_{он}$ – відсоток загально-виробничих витрат, приймаємо $R_{он} = 15\%$.

$$C_{пр} = C_{зн.нов} + C_{зн.зб}, \quad (4.13)$$

$$C_{пр} = 379,45 + 289,34 = 668,80 \text{ грн.}$$

Отже,

$$C_{зв.} = \frac{668,80 \cdot 15}{100} = 100,32 \text{ грн.}$$

З вище наведених розрахунків випливає те, що вартість конструкторської розробки складе

$$C_{\text{вк}} = 668,80 + 1600 + 3000 + 789,34 + 100,32 = 6158,46 \text{ грн.}$$

Очікувану економічну ефективність капітальних вкладень для даної конструкції підраховуємо за формулою [13]:

$$E_o = \frac{E_p}{C_{\text{вк}}}, \quad (4.14)$$

де E_p – очікувана економія від використання технічного засобу (збільшення продуктивності з покращенням рівня якості вихідної продукції), грн. $E_p = 3200$ грн.

$$E_o = \frac{3200}{6158,46} = 0,52 \text{ грн.}$$

Термін окупності капіталовкладень на втілення даної конструкторського рішення підраховуємо за формулою [13]:

$$Q_p = \frac{C_{\text{вк}}}{E_p}, \quad (4.15)$$

Звідси,

$$Q_p = \frac{6158,46}{3200} = 1,9 \text{ роки}$$

Основні техніко-економічні показники розробки приводимо в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники

Показники	Значення
Витрати на виготовлення оригінальних деталей, грн.	789,34
Витрати на закупівлю деталей, грн.	3000
Витрати на виготовлення корпусних деталей, грн.	1600
Витрати на монтаж технічного засобу	6158,46
Очікувана річна економія, грн.	3200
Термін окупності, років	1,9

Проводячи аналіз проведених економічних розрахунків по виготовленню запропонованого технічного засобу для змішування кормової суміші, можна зробити висновок про економічну доцільність впровадження її до виробничого процесу продукування комбікормів. За рахунок використання даного технологічного засобу

очікується річна економія коштів в розмірі 3200 грн., при цьому термін окупності капіталовкладень складає біля 1,8 роки.

4.4 Висновки до четвертого розділу

1. На основі проведеної екологічної експертизи щодо виявленню ступеня негативного впливу технології вібраційного змішування кормової суміші на стан природного навколишнього середовища не було встановлено фактів можливого радіоактивного, бактеріального, хімічного та інших видів забруднень

2. Основним об'єктом дослідження на предмет виявлення та упередження небезпечних ситуацій та дотримання вимог охорони праці є техніка безпека та правила поведінки при реалізації технологічного процесу змішування кормової суміші.

3. На основі проведеного техніко-економічного обґрунтування було встановлено, що щорічний економічний ефект від використання спроектованого вібраційного змішувача становить 3,2 тис.грн при терміні окупності загальних капіталовкладень біля 2 років.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Експериментальні дослідження дозволили отримати регресійні графічні залежності, за допомогою яких можна легко знайти необхідні характеристики вібраційного змішувача для досягнення бажаної якості кормової суміші.

2. При вирішенні багатокритеріальної задачі оптимізації однорідності кормової суміші, питомої потужності та продуктивності вібраційного змішувача отримано його раціональні параметри: коефіцієнт перевантаження $A\omega^2/g = 35,5$; масштабний фактор $h/D = 1,2$; безрозмірний час віброобробки $\omega t = 54050$.

3. На основі проведених багатофакторних експериментів із застосуванням методики оптимізації окреслених параметрів було встановлено, що максимальна однорідність суміші становить не менше 95%, мінімальна питома потужність приводу – 8,7 кВт та максимальна продуктивність – 0,45 т/год.

4. Детальне опрацювання питань впливу розробленого технологічного процесу вібраційного змішування кормових сумішей на стан природнього навколишнього середовища не виявило потенційних загроз в порушенні екологічних норм та стандартів. У ході проведення аналізу наявних потенційних небезпек при вібраційному змішуванню кормових сумішей були окреслені ймовірні причини виникнення небезпечних ситуацій та випадків. Більшість травмонебезпечних і аварійних ситуацій було піддано аналізу та надано рекомендації по їх недопущенню та профілактики.

5. На основі проведеного техніко-економічного обґрунтування було встановлено, що щорічний економічний ефект від використання спроектованого вібраційного змішувача становить 3,2 тис.грн при терміні окупності загальних капіталовкладень біля 2 років.