

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів
вібраційного змішувача комбікормів**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІз-1-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Чуднівцев Андрій Володимирович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____ Садченко Роман Вікторович

Дніпро 2024

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

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«26» грудня 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Чуднівцю Андрію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів
вібраційного змішувача комбікормів

керівник роботи Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«26» грудня 2023 року № 4084

2. Строк подання студентом 12.02.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для
приготування комбікормів, зокрема змішувачів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Обґрунтування динамічного режиму змішувача. 3. Експериментальні дослідження процесу змішування. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка розробленого змішувача. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі. (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження процесу (2 аркуші, А4).
 3. Експериментальні дослідження процесу (3 аркуші, А4). 4. Охорона праці при роботі з доїльним апаратом (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники розробки (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4).

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 26.12.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 02.01.2024 р.	
2	Теоретичний	до 09.01.2024 р.	
3	Експериментальний	до 18.01.2024 р.	
4	Охорона праці	до 21.01.2024 р.	
5	Економічний	до 29.01.2024 р.	
6	Демонстраційна частина	до 12.02.2024 р.	

Студент

_____ (підпис)

Чуднівець А.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Дудін В.Ю.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Чуднівєць А.В. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів вібраційного змішувача комбикормів /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

У вступній частині дипломної роботи викладено обґрунтування актуальності обраної теми, сформульовано мету та завдання, а також наведено методи досліджень. Шляхом аналізу стану питання змішування сипких кормів визначено, що використання вібраційного змішувача вимагає удосконалення. У другому розділі роботи проведено теоретичне моделювання роботи вібраційного змішувача, на основі якого обґрунтовано технологічні, геометричні, кінематичні та силові параметри. Результати експериментальних досліджень визначили оптимальні співвідношення конструктивно-режимних параметрів розробленого вібраційного змішувача. Окремо проведено аналіз розробленої конструкції з точки зору охорони праці. Проведено економічне обґрунтування виконаних розробок. Робота включає висновки та перелік використаної літератури.

Ключові слова: сипкі корми, змішувач, вібрація, пружність, однорідність змішування, питома енергоємність, питомі експлуатаційні витрати.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ	9
1.1 Аналіз конструкцій змішувачів вібраційного дії	9
1.2 Класифікація змішувачів вібраційного дії	17
1.3 Технологічні характеристики змішувачів	18
1.4 Режими динамічної поведінки сипких матеріалів під час вібрації	21
1.5 Висновки до розділу	28
2 ОБГРУНТУВАННЯ ДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ ЗМІШУВАЧА	30
2.1 Обґрунтування основних параметрів змішувача	30
2.2 Сили, що призводять до циркуляції продукту	35
2.3 Дослідження характеристик процесу змішування	41
2.4 Висновки до розділу	46
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ	47
3.1 Мета і програма експериментальних досліджень	47
3.2 Методика експериментальних досліджень	47
3.3 Результати експериментальних досліджень	53
3.4 Висновки до розділу	57
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	59
4.1 Охорона праці при роботі зі змішувачем сипких кормів	59
4.2 Розробка проекту інструкції з охорони праці при роботі зі змішувачем комбікорму	60
4.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	62

4.4 Висновки до розділу	63
5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО ЗМІШУВАЧА	64
5.1 Вихідні дані	64
5.2 Розрахунок показників економічної ефективності	64
5.3 Висновки до розділу	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
БІБЛІОГРАФІЯ	68

ВСТУП

Одним з основних шляхів підвищення продуктивності тварин і підвищення ефективності виробництва тваринницької продукції є використання кормових сумішей. Кормові суміші складаються з великої кількості поживних речовин, необхідних для отримання максимального біологічного і економічного ефекту від тварин. Збалансовані кормові суміші для ВРХ містять до 10%, для свиней до 15 ... 20%, а для птиці до 40 ... 50% різних компонентів. Зазначені добавки вводять в малих дозах, що становлять десяти, соті і навіть тисячні частки відсотка.

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

До найбільших досягнень науки можна віднести фундаментальні і прикладні розробки механіки вібраційних машин, механізмів і технологій. Цей порівняно молодий розділ механіки знаходить все більш широке практичне застосування при обробці дисперсних систем в віброкиплячому шарі, прискорює процес масообміну. Обумовлено це тим, що при використанні вібраційних ефектів на матеріал підвищується продуктивність обладнання, знижуються питомі енергетичні витрати, поліпшується якість продукції. Причому вібраційні ефекти піддаються швидкому регулюванню шляхом зміни параметрів вібрації, що сприяє оптимізації основних технологічних режимів, відповідно до високих вимог, що пред'являються до якості суміші.

Аналіз існуючих конструкцій змішувачів вібраційного дії, що застосовуються у виробництві сипких кормових сумішей, а також теоретичних досліджень дозволяє зробити наступні висновки:

- застосовувані в даний час змішувачі не відповідають повною мірою пропонованим до них вимогам, у зв'язку з чим виникає необхідність подальшого вдосконалення в частині зниження їх енергоємності, динамічної напруженості і шуму в роботі;

- перспективним напрямком у виробництві сипких кормових сумішей є застосування вібрації, яка дозволяє інтенсифікувати процес змішування.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Аналіз конструкцій змішувачів вібраційного дії

Виробництво сипких кормових сумішей безпосередньо в господарствах на малогабаритному обладнанні економічно вигідно, тому що істотно знижуються витрати на транспортування сировини, її зберігання, а також найбільш

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

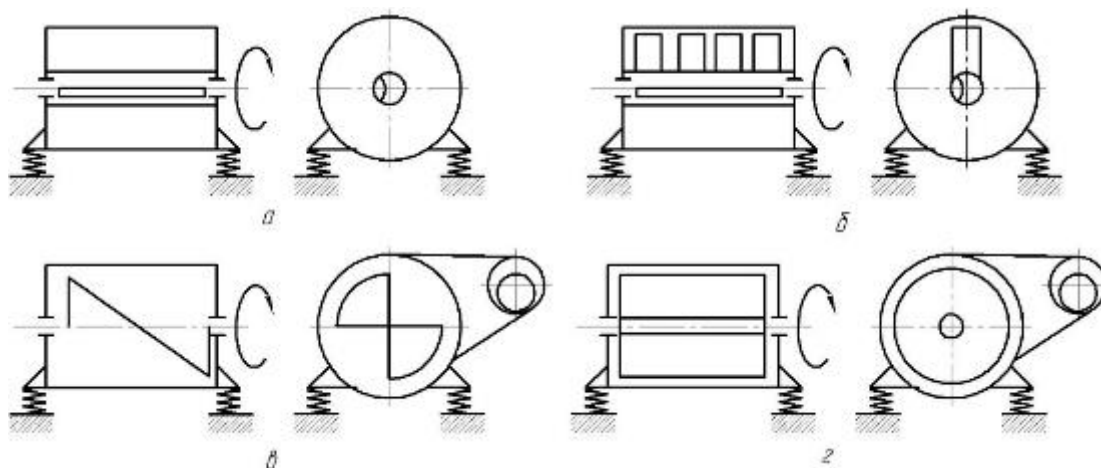


Рисунок 1.1 – Конструкції вібраційних змішувачів, розроблених на базі вібромлинів М-100, М-200, М-400: а - з дебалансним віброзбуджувачем всередині валу; б - з дебалансним віброзбуджувачем всередині валу і прямою гребінкою; в - з виносним віброзбуджувачем і лопатевим валом; г - з виносним віброзбуджувачем і реактивним скребком

Конструкція вібраційного змішувача ДВС-Н, представлена на рис. 1.2.

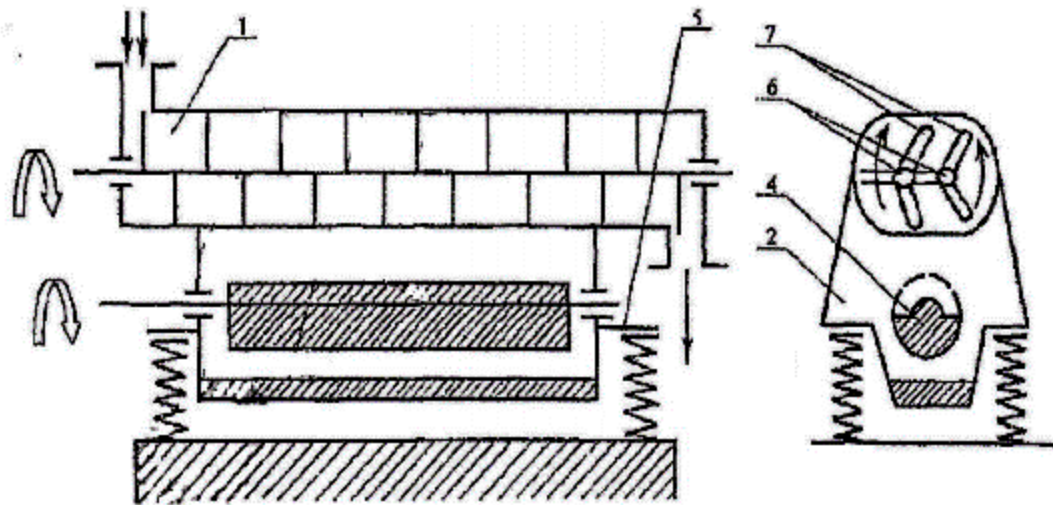


Рисунок 1.2 - Вібраційний змішувач ДВС-Н

Він складається з корпусу 1, всередині якого встановлені два вала з лопатками 7, при цьому вали обертаються назустріч 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 встановлено противагу 3, вали змішувача приводиться в обертання від електродвигуна.

Вібраційний змішувач працює наступним чином: компоненти засипаються в прийомну лійку, звідки вони потрапляють у внутрішню порожнину змішувача, там компоненти піддаються інтенсивного перемішування лопатками з кутом атаки 90° , а лопатки з кутом атаки 45° проштовхують суміш до вивантажувального вікна.

Основним недоліком даного вібраційного змішувача є висока металоємність і енергоємність.

На рис. 1.3 представлена конструкція лоткового вібраційного змішувача.

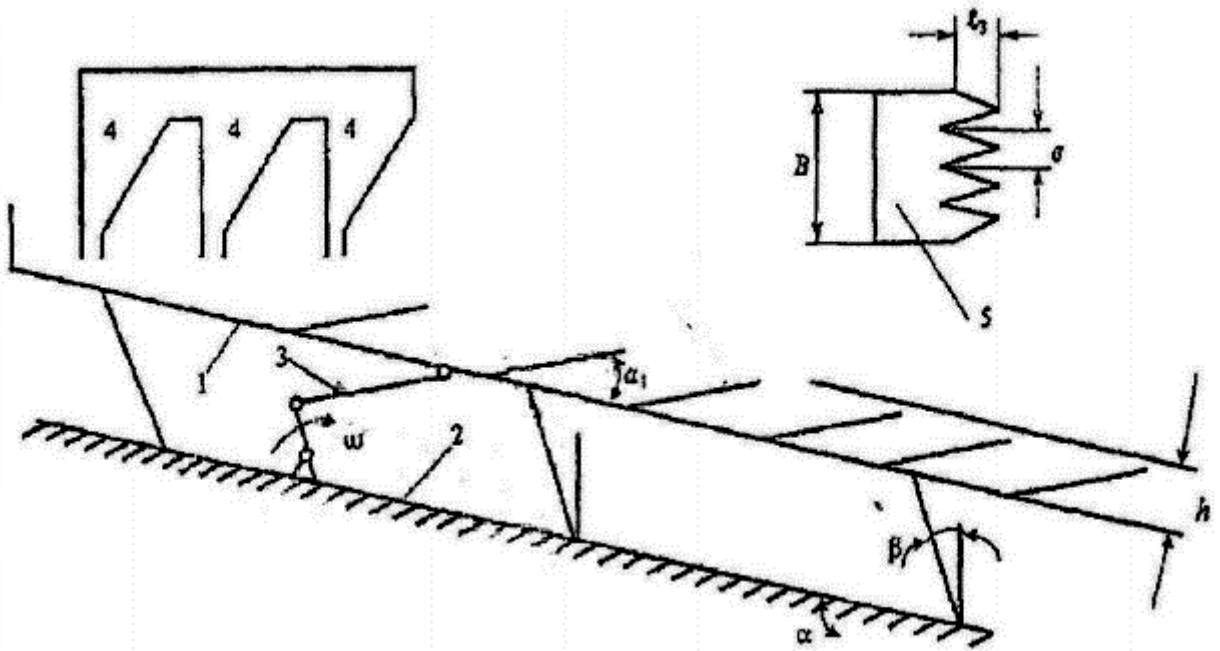


Рисунок 1.3 - Лотковий вібраційний змішувач

Конструкція даного типу змішувача є вібраційно-транспортною машиною з плоским жолобом 1, в якому каскадно встановлені гребінки

и 5, що є робочими органами. Коливальні рухи передаються жолобу через еластичні ресори 3, встановлені на рамі 2. Під час роботи змішується маса під впливом вібрації переміщується за рахунок розпушення на крайках зубів.

До основного недоліку даної конструкції слід віднести відсутність згладжування при нерівномірному подачі компонентів дозаторами.

На рис. 1.4 дано вид торovidного вібраційного змішувача. Дана конструкція містить торovidний корпус 1, патрубк ввeдення 5 і вивeдення 6 матеріалу, внутрішню насадку 7, жорстко закріплену в центрі основи змішувача.

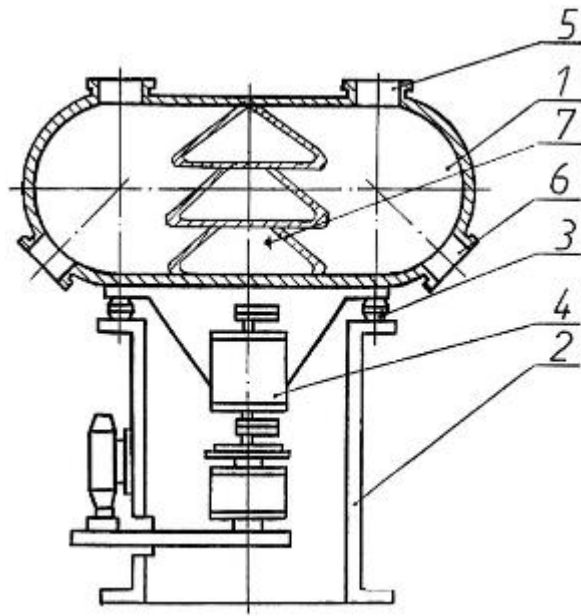


Рисунок 1.4 - Вібраційний змішувач з торовидною камерою змішування

Робота даного пристрою здійснюється наступним чином. При включенні віброзбудника 4 корпус змішувача 1 отримує коливання, внаслідок яких матеріал починає циркулювати по складній траєкторії навколо внутрішньої насадки 7 і при зіткненні з її складною поверхнею отримує імпульс, який ускладнює траєкторію руху частинок. Таким чином, установка внутрішньої насадки інтенсифікує процес змішування.

До недоліків даної конструкції вібраційного змішувача слід віднести незначний об'єм змішувача і статичне закріплення внутрішнього робочого органу.

Конструкція трубного вібраційного змішувача приведено на рис. 1.5. В камері змішування 1, ексцентрично розміщена труба 2, всередині труби 2 розташований обертається вал 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 8 також спираються на станину корпусу.

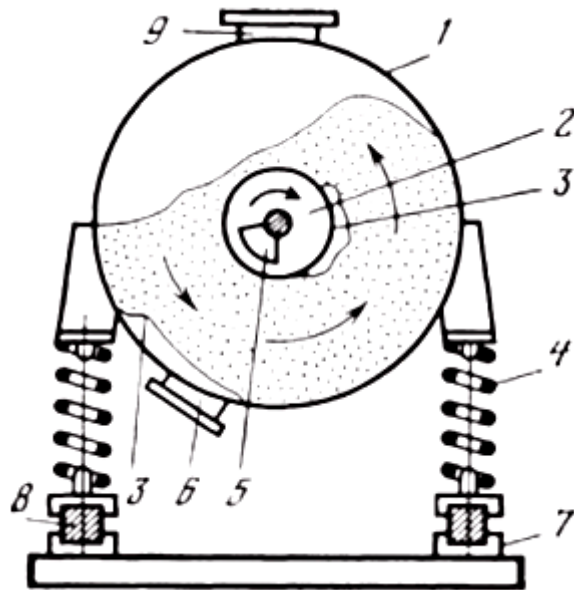


Рисунок 1.5 - Трубний вібраційний змішувач

Працює змішувач наступним чином. Компоненти завантажують в камеру змішування. У ній маса сипкого матеріалу безперервно пересувається уздовж віброуючої труби. Труба рухається по круговій або еліпсоїдальній траєкторії з високими прискореннями. Основна маса сипкого матеріалу циркулює в поперечних перетинах труби в бік, зворотний обертанню вібробудника.

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

На рис 1.6 представлена конструкція вібраційного змішувача безперервної дії. Змішувач складається з віброжолоба 1 з укріпленими всередині нього рівномірно один за одним з нахилом до днища елементами 2. Віброжолоб 1 за допомогою ресор 3 спирається на раму 4. Коливання передаються віброжолобу ексцентриковим приводом 5.

Перемішуючі елементи закріплені в двох точках за допомогою шарніра 6 на одному кінці і пружини 7 на іншому.

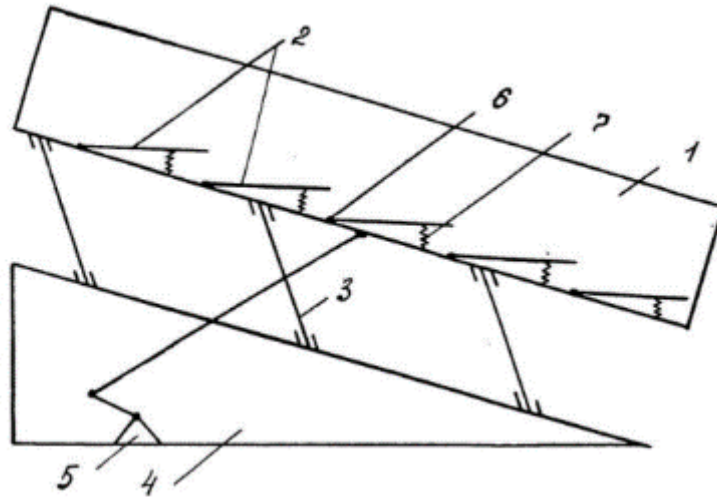


Рисунок 1.6 - Вібраційний змішувач безперервної дії

Принцип роботи змішувача наступний. Під впливом вібрації жолоба маса надходить на перший перемішуючий елемент, пересувається деякий час по його гладкій частині, потім по його зубах, де перемішуються частки маси, потім відбувається падіння маси на днище жолоба, переміщення по гладкій частині другого перемішувача елемента, переміщення по його зубах, падіння і т.д. Поряд з основними коливаннями жолоба змішувача з перемішувачами елементами, останні додатково здійснюють коливання (вібрації) з невеликою амплітудою в вертикальній площині.

Недоліком даної конструкції є висока металоємність.

Наступна конструкція вібраційного змішувача представлена на рис 1.7. Вібраційний змішувач містить циліндричний завантажувальний бункер 1 з верхнім 2 і нижнім 3 отворами в стінці. Між отворами 2 і 3 на його зовнішній поверхні закріплений спіральний жолоб 4 з перфорованими витками. На кінці жолоба 4 встановлений розвантажувальний патрубок 5. На дні 7 завантажувального бункера, розташованого на рівні нижнього отвору 3, встановлена відповідно з ним циліндрична вставка 8, на якій закріплена спіральна лопать 4, що приймає до внутрішньої поверхні завантажувального бункера 1.

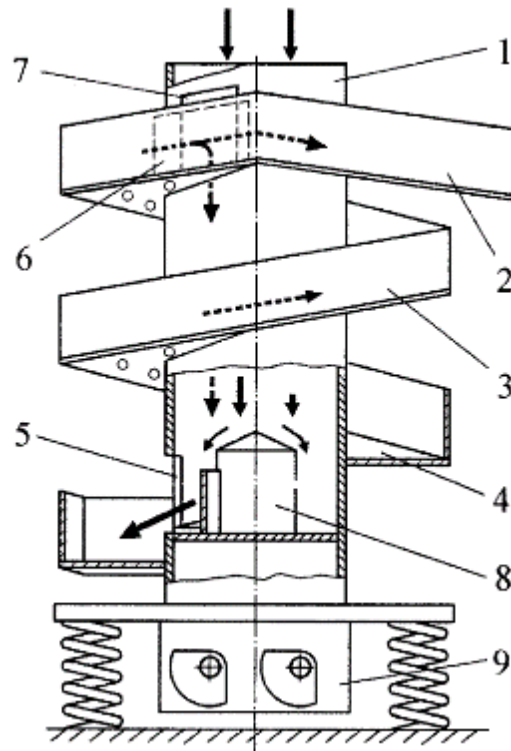


Рисунок 1.7 - Вібраційний змішувач конструкції КТШ

Робота даного пристрою здійснюється наступним чином. при включенні Вібропривід циліндричний завантажувальний бункер з закріпленим на його зовнішній поверхні спіральним жолобом здійснює складний просторовий рух. Під дією спрямованої вібрації інгредієнти скочуються по лопаті 3 до отвору 5 в стінці бункера 1. Її нахил в сторону руху інгредієнтів збільшує швидкість вібротранспортування шару. В процесі віброруху по жолобу 4 інгредієнти перемішуються. Перфорація спірального жолоба 4, повертаючи частина матеріалу з верхніх витків на нижні, сприяє усередненню його складу по висоті апарату і тим самим інтенсифікує змішування. Після досягнення сумішшю заданого якості патрубків 5 відкривають і вивантажують готовий продукт.

Недоліком даної конструкції є висока енергоємність. Конструкція вібраційного змішувача, розробленого в Кременчуцькому виробничому об'єднанні «Дормашина», представлена на рис. 1.8.

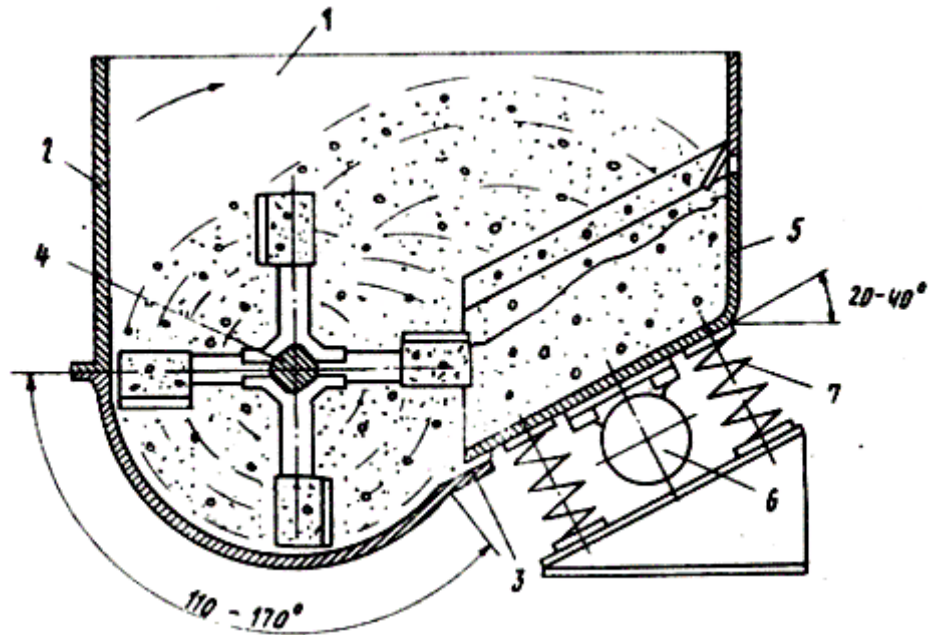


Рисунок 1.8 - Конструкція вібраційного змішувача, розробленого в Кременчуцькому виробничому об'єднанні «Дормашина»

Вібраційний змішувач містить коритоподібний корпус, всередині коритоподібного корпусу встановлений лопатевої вал 4, вібраційний лоток 5 зі збудником 6 кругових коливань за допомогою пружних опор 7 встановлений під кутом в 40° до горизонтальної площини так, що його розвантажувальна кромка розташована над вільною боковиною днища 3 уздовж утворює циліндричної поверхні з зазором, рівним $1,5 \dots 5$ мм.

Робота даного пристрою здійснюється наступним чином. Включають приводи лопатевого вала 4 і віброзбудника 6, у вібраційний змішувач завантажують компоненти. Обертливим лопатевим валом 4 суміш перемішується і викидається на вібраційний лоток 5, де вона піддається інтенсивному вібраційному впливу. З вібраційного лотка 5 суміш знову повертається в зону дії лопатевого вала 4. Після закінчення перемішування готова суміш вивантажується через затвор в днище.

Недоліком даної конструкції змішувача є велика енергоємність і металоємність.

Проведений аналіз конструкцій змішувачів вібраційного типу для змішування сипких матеріалів показує, що все відомі схеми змішувачів досить далекі від досконалості. Здебільшого конструкції недостатньо надійні через некеріваність динамічних навантажень, що передаються при вібраційних впливах безпосередньо на корпус змішувача, а не на перемішуваний матеріал.

1.2 Класифікація змішувачів вібраційного дії

Для того щоб провести детальний аналіз, пов'язаний з існуючими і класичними конструкціями змішувачів вібраційного типу, з виявленням переваг і недоліків в їх роботі, необхідно розглянути класифікацію вібраційних змішувачів для змішування сипких матеріалів, яку можна побудувати, спираючись на різні критерії.

Для більш повного уявлення існуючої картини вібраційного змішування необхідно дотримуватися вже сформованих загальних підходів, на підставі яких можна вибудувати найбільш раціональну класифікацію змішувачів по одній з наступних ознак:

- за характером процесу змішування (періодичної дії, безперервної дії).
- по виду потоку частинок змішуваного матеріалу (детерміноване переміщення, стохастичне переміщення).
- по розташуванню робочої камери (горизонтальне розташування, похиле розташування, вертикальне розташування).
- за типом робочого органу (з жорстким робочим органом, з гнучким робочим органом).



Рисунок 1.8 - Класифікація вібраційних змішувачів

Представлена класифікація на рис. 1.8 охоплює більшість існуючих вібраційних змішувачів і різноманіття їх конструктивно-технологічних рішень. Разом з тим вона дає уявлення про причинно-наслідковий зв'язок тих недоліків і переваг, які притаманні їм.

Ці ознаки класифікації є визначальними при виявленні оптимальної конструктивно-технологічної схеми вібраційного змішування сипких матеріалів.

1.3 Технологічні характеристики змішувачів

До технологічних характеристик змішувачів відносять:

- технологічну (корисну) місткість змішувача, тобто об'єм фактичного перемішування, m^3 ;

- якість змішування кормів, яка 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, роздачі кормів).

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

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 в другий (умовний). Таким чином, в цій двокомпонентній суміші випадковою величиною є утримання контрольного компонента в мікрообсязі.

До контрольного компоненту пред'являють такі вимоги: порівняльна простота визначення його утримання в пробі, невелика кількість, відмінність від інших компонентів. Цим вимогам в комбікормах відповідає сіль, у вологих кормах - насіння ячменю або буряка. Контрольним компонентом може бути або компонент кормосуміші, що входить в неї в малих кількостях, або спеціальний компонент (індикатор). При цьому вважають, що якщо контрольний компонент розподілений рівномірно, то і всі інші розподілені задовільно.

Згідно ОСТ 70.19.2-83, якісною характеристикою процесу змішування є нерівномірність (неоднорідність) суміші, оцінювана через коефіцієнт варіації

C_x контролюваного або контрольного компонента. В якості останніх можуть служити кухонна сіль, зерна ячменю або насіння буряка, що вводяться в кількості 1% до маси всієї суміші. Розрахунок для змішувачів безперервної дії ведуть за формулами:

$$\sigma_x = \sqrt{[\sum (X_i - \bar{X})^2] / (n-1)}, \quad (1.1)$$

$$C_x = (\sigma_x / \bar{X}) \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

де X_i - концентрація контролюваного або контрольного компонента в пробах (вагова, відносна, кількість одиниць);

\bar{X} - середньоарифметична концентрація контрольного компонента;

n - число відібраних проб.

Для змішувачів періодичної:

$$\sigma_x = \sqrt{[\sum (X_i - X_p)^2] / (n-1)}, \quad (1.3)$$

$$C_x = (\sigma_x / X_p) \cdot 100\%. \quad (1.4)$$

Однорідність суміші Θ пов'язана з неоднорідністю співвідношенням

$$\Theta = 100 - C_x, \%. \quad (1.5)$$

1.4 Режими динамічної поведінки сипких матеріалів під час вібрації

Багатьма дослідниками були відзначені зміни в поведінці матеріалу при зміні параметрів вібрації. Характерною величиною, яка оцінює інтенсивність вібрації, є добуток амплітуди коливань на квадрат частоти коливань $A\omega^2$. При $A\omega^2 < g$ циркуляційного руху середовища не виникає. Більш того, після деякого руху, пов'язаного з ущільненням середовища, настає відносний спокій, і матеріал рухається разом з місткістю (рисунок 1.9 а, початковий рівень матеріалу показаний пунктирною лінією).

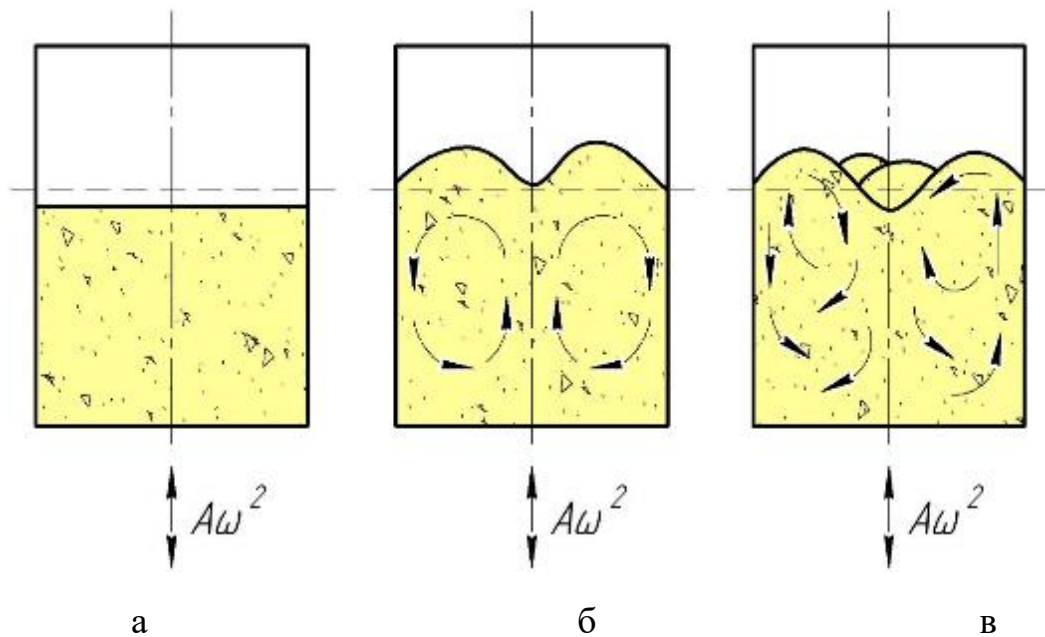


Рисунок 1.9 - Види руху зернистого матеріалу під дією вібрації

При $A\omega^2 > g$ починається впорядкований рух сипкого середовища в вигляді циркуляційних потоків (рисунок 1.9 б). Залежно від висоти шару може виникати один або ціла група осередків циркуляції. Швидкість циркуляції в цьому режимі має однакове по модулю значення, що можна трактувати як детермінований (ламінарний) рух матеріалу. Виникнення контурів циркуляції матеріалу є не що інше, як самоорганізація зернового матеріалу під дією вібрацій.

Навіть при строго вертикальному напрямку коливань і симетричній формі емності, які виключають будь-яку анізотропію (кінематичну, сил опору, геометричну), яка пояснює появу вібраційного переміщення, виникають циркуляційні рухи.

Механізм виникнення осередків в рухомому матеріалі, представляється наступним. Значну роль тут відіграє аеродинамічний фактор. У режимі вібрації, при якому сипкий матеріал має можливість відриватися від вібруючого днища, в момент «польоту» між матеріалом і днищем виникає повітряний прошарок, тиск якого змінюється двічі за період коливань. При підкиданні матеріалу тиск в прошарку стає нижче атмосферного, при падінні - вище. При падінні тиску в повітряному прошарку нижче атмосферного повітря підсмоктується через верхню границю матеріалу, при підвищенні ж тиску витісняється через неї. Причому в матеріалі виникають деякі напрямки руху повітряних потоків, за якими йде підсос і витіснення повітря.

Виникаючі повітряні потоки захоплюють частинки матеріалу і втягують їх у циркуляційний рух. Якщо матеріал, який бере участь в ламінарній циркуляції, неоднорідний за формою і щільності складових його частинок, то може спостерігатися змішування або поділ його за вказаними ознаками і встановлення динамічної рівноваги процесів поділу - змішування.

При режимах, в яких $A\omega^2 > g$, що характеризуються інтенсивною дією вібрації, настає стохастичний (турбулентний) рух зернистого матеріалу і його інтенсивне перемішування по всьому об'єму (рис. 1.9 в). Необхідно відзначити, що випадковий рух матеріалу відбувається при відсутності випадкових зовнішніх сил, полів і джерел енергії. Це ріднить виникнення турбулентності з процесом розвитку автоколивань. Оскільки дане явище реалізується при досить інтенсивних вібраціях, то утворюється велика за об'ємом повітряна подушка між робочим органом і оброблюваним матеріалом. Такий прошарок повітря завжди створює якісно нову коливальну систему: зерновий матеріал-газ, в якій роль

пружного елемента грає локалізований в подушці газ, а інерційного - стовп зернового матеріалу над подушкою. У такій системі завжди виникають автоколивання, супроводжуються періодичним проривом повітря з подушки під зовнішнє середовище і назад, що призводить до інтенсивного руху матеріалу і його перемішування.

Прориви великих повітряних бульбашок до верхньої межі шару створюють ефект віброкипіння матеріалу. Таким чином, рух зернистого матеріалу в відбувається, в основному, під дією двох сил - аеродинамічній (створюється осцилюючим повітряним потоком) і сили сухого тертя.

Аеродинамічні сили відіграють домінуючу роль при певній формі вібраційних робочих органів і при вертикальних або при горизонтальних коливаннях. Сили сухого тертя (фрикційні) проявляються в значній мірі при наявності кінематичної (похилі, кругові, еліптичні коливання), динамічної (похилий шар), фрикційної (неоднаковість сили сухого тертя в прямому і зворотному напрямку) або геометричної (асиметрія в формі ємності) анізотропії. Фрикційні сили, при їх наявності, сильно ускладнюють картину руху матеріалу, а спільна взаємодія аеродинамічних і фрикційних сил може призводити до дуже складного характеру руху матеріалу. Дослідження, присвячені геометричній анізотропії та відповідної їй поведінки матеріалу в циліндричному змішувачі з гнучким віброрудницем, наведені в наступному розділі.

За допомогою вібрації можна здійснювати велику кількість операцій в технологічних процесах сільськогосподарських і переробних підприємств. Залежно від деяких параметрів вібраційної машини і самого вібраційного впливу, таких, як амплітуда і частота коливань, напрямок коливань, розмір і форма корпусу, тощо, вібрація може бути використана для здійснення прямо протилежних за своєю суттю процесів: змішування і поділу компонентів, збільшення або зменшення сили тертя між поверхнями, ущільнення або розпушення сипучих

матеріалів і т.д. Тому, використовуючи подібні за своєю конструкцією або навіть абсолютно однакові машини, можна отримати абсолютно різні ефекти при різних параметрах вібрації. Для ефективного використання існуючої і створення нової вібраційної техніки необхідно грамотно, теоретично обґрунтовано підходити до цього питання.

Велика кількість дослідників, які спостерігали за поведінкою сипучого матеріалу під впливом вібрації, також виділяють три характерних динамічних режими, що залежать, головним чином від інтенсивності вібраційного впливу.

При найменш інтенсивній вібрації, коли віброприскорення приймає значення менше прискорення вільного падіння, відбувається рух частинок щодо один одного. При такому русі коефіцієнт тертя спокою зменшується до коефіцієнта тертя ковзання часток один щодо одного. В результаті чого відбувається взаємний перерозподіл часток в об'ємі матеріалу, дрібні частинки укладаються в пори між більшими, об'єм матеріалу зменшується, тобто відбувається його ущільнення.

Збільшення інтенсивності вібраційного впливу переводить сипучий матеріал в стан, який називають псевдозрідженим або віброзрідженим. Віброзрідження виникає при віброприскореннях, трохи переважаючих прискорення вільного падіння. У цьому стані інерційні сили, що діють на частинки матеріалу, перевершують сили тертя між частинками, але ще досить малі для того, щоб відбувався відрив частинок одна від одної. У матеріалі, що знаходиться в стані віброзрідження, відбувається активне ковзання часток одна щодо одної, виникають різні циркуляційні потоки, які сильно нагадують потоки в'язкої рідини.

Третій режим руху матеріалу, який називають віброкипінням, виникає при найбільш інтенсивному вібраційному впливі. В цьому режимі відбувається не тільки відносне проковзування частинок, але і відрив їх одна від одної, коли одні частинки підкидаються на значну висоту, а інші провалюються в порож-

нечі, що утворилися. В результаті підкидань, падінь і взаємних зіткнень частинок виникає їх хаотичний рух. Наявність великої кількості експериментальних досліджень підтверджують «рідинну» поведінку віброємого зернистого матеріалу, теоретичне обґрунтування можливості використання рівнянь Нав'є-Стокса для опису динаміки віброзрідженого шару закладають основу для вирішення практичних завдань, пов'язаних з віброобробкою сипучих середовищ.

Можливість використання підходів сучасної нелінійної динаміки до опису поведінки зернистого матеріалу, який піддається вібрації показав І. Я. Федоренко. Тут зернистий матеріал розглядається як в'язка рідина, а вплив на нього вібрації ототожнюється з підведенням теплової енергії до днища судини. Вихідними для опису динаміки шару є рівняння Нав'є-Стокса і нерозривності, в які, однак, додані нові члени, що враховують осцилюючий характер руху, що створює спрямовані потоки матеріалу. Посилаючись на подобу своєї моделі руху з термоконвективною моделлю, побудованою американським фізиком-метеорологом Е. Лоренцом, автор пририводить її до системи Лоренца:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \sigma(y - x) \\ \dot{y} &= rx - y + xz \\ \dot{z} &= xy - bz \end{aligned} \right\}, \quad (1.6)$$

де x, y, z - нові перемінні;

σ, r, b - деякі параметри.

Фізична сутність нових перемінних наступна. Перемінна x характеризує швидкість циркуляції матеріалу, y пропорційна різниці амплітуд коливань між спадними і висхідними потоками, z пропорційна відхиленню вертикального профілю амплітуд коливань від рівноважного значення.

З використанням теорії розмірності для з'ясування фізичного сенсу параметрів σ, r, b отримані наступні вирази:

$$\sigma = \frac{A\omega h}{v}; r = \frac{A\omega^2}{g}; b = \frac{4}{1+(h/D)^2}, \quad (1.7)$$

де A , ω - амплітуда і колова частота вібрацій;

h - початкова висота шару сипучого матеріалу;

v - ефективна кінематична в'язкість сипкого середовища;

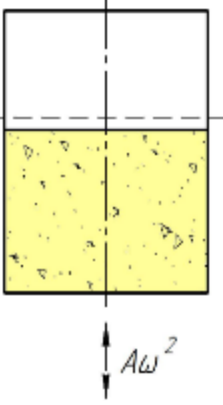
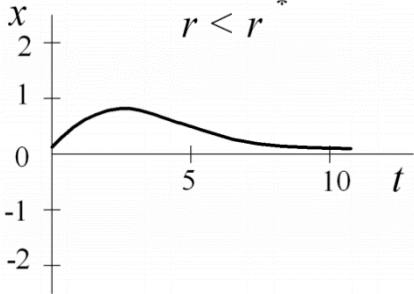
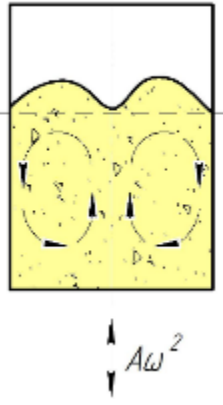
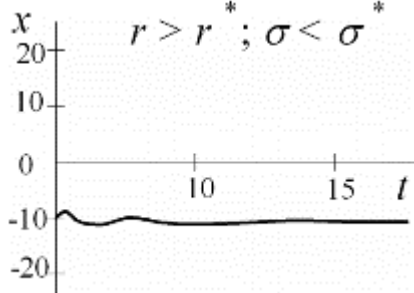

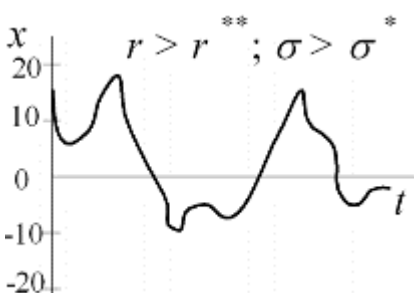
D - поперечний розмір контейнера з сипким матеріалом.

Рівняння моделі (1.7) є нелінійними і їх рішення можливо лише чисельними методами. Для моделі Лоренца можливі три виду рішень, які залежать від величини параметрів σ , r , b , які добре узгоджуються з експериментом. Причому дана система проявляє біфуркації, тобто різні якісні перебудови, які виникають раптово у відповідь на плавну зміну керуючих параметрів. Значення параметрів, при яких відбувається якісна зміна режиму руху сипучого матеріалу, називаються критичними або біфуркаційними і позначаються зірочкою. Друге критичне значення параметра буде відповідати додаванню двох зірочок.

Можна виділити три основних динамічних стани (режиму руху) сипкого матеріалу при вібраціях, які впливають з моделі Лоренца.

Спокій (за винятком невеликого руху, пов'язаного з ущільненням матеріалу), спостерігається при $r < r^* \approx 1$. У моделі Лоренца мова йде про усереднений рух, тобто про циркуляцію сипкого середовища. Очевидно, що вібрації матеріалу при $r < r^*$ існують, але спрямованого усередненого руху немає (табл. 1.1). У літературі даний динамічний стан шару сипкого матеріалу прийнято називати псевдозрідженим, оскільки відносні вібрації частинок зменшують зчеплення між ними, частки ближче підходять один до одного, здійснюється їх щільніше укладання. Максимальна ущільнення досягається зазвичай при $r \approx 1$ і становить величину близько 10...15 відсотків (по збільшенню щільності шару).

Таблиця 1.1 - Основні динамічні стани сипкого середовища при вібрації

Режими руху матеріалу	Графічна інтерпретація рівняння руху середовища	Особливості поведінки зернистого матеріалу при вібрації
		деяке ущільнення матеріалу, циркуляції немає, «тремтіння» частинок середовища, поява ознак віброзрідження
		детермінована (ламінарна) циркуляція, сегрегація компонентів за розмірами і щільністю
		стохастичне (турбулентне) віброкипіння, інтенсивне перемішування середовища

Правильні циркуляційні рухи сипкого матеріалу, які нагадують осередки Бенара в підігріваному шарі в'язкої рідини, проявляються при $r < r^* \approx 1$ та

$\sigma < \sigma^* \approx b + 1$ носять детермінований (ламінарний) характер. Шар при цьому розпушується, наповнюється повітрям і нагадує за своїм станом киплячу рідину. Неоднорідний матеріал в цьому режимі розділяється по щільності і розміру часток.

Стохастичні циркуляційні рухи з'являються при критичному значенні коефіцієнта перевантаження. Слід звернути увагу на те, що на вхід розглянутої системи подається чисто синусоїдальний вплив, а відгук її є стохастичним (тобто виникає рух, схожий з турбулентним в істинній рідині). Отже, мова йде про генерування хаосу. Модель Лоренца була першою, яка відображала цю істотну особливість багатьох реальних процесів. Її рішення показує, що рух псевдорідини не виходить ні на стаціонарний, ні на періодичний режим. Видно, що спочатку відбувається кілька коливань різного розмаху в області, де $x > 0$, далі функція «перескакує» в негативну область, потім знову в позитивну і т. д., причому все це відбувається випадковим чином.

За рахунок такого руху відбувається досить інтенсивне перемішування складових сипкого матеріалу, причому останній сильно розпушується, до його поверхні постійно піднімаються газові бульбашки. Усе це створює ефект інтенсивного віброкипіння шару сипкого матеріалу.

1.5 Висновки до розділу

Оцінка існуючих конструкцій вібраційних змішувачів, які застосовуються у виробництві сипких кормових сумішей, разом із теоретичними дослідженнями дозволяє зробити наступні висновки:

- поточні використовувані змішувачі не повністю відповідають вимогам, що висуваються до них. Це породжує необхідність подальшого удосконалення, зокрема у зменшенні їх енергоспоживання, динамічній жорсткості і рівні шуму під час роботи.

- перспективним напрямком у виробництві сипких кормових сумішей є використання вібрації, що дозволяє інтенсифікувати процес змішування.

2 ОБГРУНТУВАННЯ ДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ ЗМІШУВАЧА

2.1 Обґрунтування основних параметрів змішувача

Камеру змішувача утворює циліндрична ємність, днище якої являє гнучку мембрану 3 з жорсткими пластинами круглої форми (рисунок 2.1). Мембрана з'єднана з віброприводом 2. Наявність жорстких пластин дозволяє розглядати коливання мембрани як поршня, що здійснює вертикальні переміщення. Будемо називати такий робочий орган віброрудницею. Під дією віброруднища матеріал, в залежності від інтенсивності вібраційного впливу, може ущільнюватися, циркулювати з підйомом потоку в центрі камери і опускатися по периферії, циркулювати з накладенням хаотичного руху твердих частинок. Саме останній режим найбільш сприятливий для проведення процесу змішування.

На відміну від класичного випадку вібрації всієї ємності, розглянутих у багатьох роботах [13, 14, 15], в нашому випадку вібрує лише днище, а стінки ємності є нерухомими. Проте динаміка змішувача, як показують наші експерименти, в обох випадках ідентична. У той же час динамічна навантаженість всього пристрою в цілому істотно знижена.

Визначимо закон руху віброруднища під дією віброприводу ексцентрикового механізму.

Знайдемо зміщення S в проміжному положенні:

$$\cos \varphi = \frac{OA}{R}, \quad OA = R \cos \varphi, \quad (2.1)$$

$$\sin \varphi = \frac{AD}{R}, \quad AD = R \sin \varphi, \quad (2.2)$$

$$l^2 = AD^2 + AB^2, \quad AB = \sqrt{l^2 - AD^2} = \sqrt{l^2 - R^2 \sin^2 \varphi}, \quad (2.3)$$

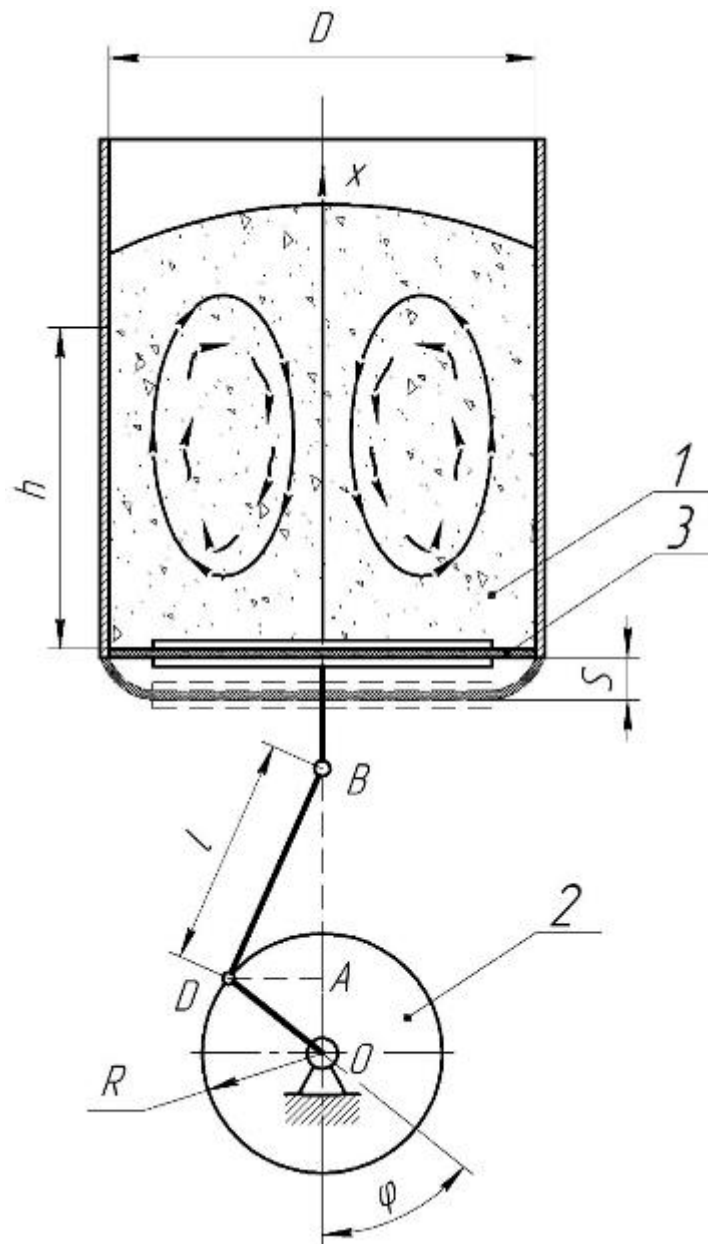


Рисунок 2.1 - Схема приводу вібраційного змішувача 1 - комбікорм; 2 - вібропривід; 3 - віброднище; S - зміщення віброднища; R - радіус ексцентрика; l - довжина шатуна; h - початкова висота матеріалу; φ - кут повороту

Зміщення S:

$$S = R(1 - \cos \varphi) + l - \sqrt{l^2 - R^2 \sin^2 \varphi}, \quad (2.4)$$

У деяких проміжних положеннях зміщення дорівнює:

$$S = R(1-1) + l - \sqrt{l^2 - R^2} = 0, \quad (2.5)$$

$$S = R(1+1) + l - \sqrt{l^2} = 2R, \quad (2.6)$$

Таким чином, амплітуда коливань АО дорівнює R , розмах $2R$, а закон переміщення віброднища має вигляд:

$$S = R(1 - \cos \omega t) + l - \sqrt{l^2 - R^2 \sin^2 \omega t}, \quad (2.7)$$

$$S = R(1 - \cos \varphi) + l - \sqrt{l^2 - R^2 \sin^2 \varphi} = l \left[\frac{R}{l} \left(1 - \cos \varphi + 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R}{l} \right)^2 \sin^2 \varphi} \right) \right]. \quad (2.8)$$

Оскільки в ексцентрикових механізмі $l \gg R$, то приймемо, що $(R/l)^2 \approx 0$, тоді зміщення x віброднища буде описуватися законом (враховуючи, що $\varphi = \omega t$):

$$x = R(1 - \cos \omega t), \quad (2.9)$$

а швидкість віброднища:

$$u = R\omega \sin \omega t. \quad (2.10)$$

Таким чином, R є також амплітудою коливань матеріалу при $x=0$, тобто

$$AO=R. \quad (2.11)$$

Отже, в першому наближенні рух віброднища є гармонійним, не містить будь-якого виду випадкових компонент руху. Проте, в русі змішувального матеріалу велика роль стохастичної складової. Схематично рух по вертикалі кожної частки змішувального матеріалу можна представити у вигляді:

$$x(t) = X(t) + \xi(\omega t) + \psi(t, \omega t), \quad (2.12)$$

де $X(t)$, $\xi(\omega t)$, $\psi(t, \omega t)$ - відповідно циркуляційна, коливальна та хаотична компоненти руху.

Облік всіх компонент руху створює певні труднощі при сучасному розвитку науки. Це пов'язано з особливостями даної динамічної системи «віброднище - змішуваний матеріал», яке проявляє ознаки самоорганізації (синергетики).

Синергетика - це наука про спільні, кооперативних рухах частинок будь-якого середовища. У нашому випадку циркуляційний рух змішувального матеріалу створюється самим середовищем, бо гармонійний вплив віброднища не містить, здавалося б, умов для появи такого руху.

Стохастичне «кипіння» змішувального матеріалу теж з розряду обговорюваних явищ. Хаос генерується самою системою «віброднище-змішуваний матеріал». По іншому ця система є генератором хаотичності руху частинок змішувального матеріалу.

Для проведення технологічного процесу змішування сипких кормів саме явища циркуляційного і хаотичного руху зумовлюють саму можливість змішування. Від цих же рухів залежить і якість процесу змішування.

Але навіть при відсутності цих явищ руху змішувального матеріалу все одно було б важко описати. Справа в тому, що змішуваний матеріал являє собою гетерогенну суміш, що включає дві фази: газоподібну (повітря) і тверду дисперсню (частка корму). Ці фази знаходяться в різних агрегатних станах. Їх роль

так само нерівнозначна. Повітря є несучою фазою, бо його вплив на частинки є джерелом їх руху (за винятком частинок, що безпосередньо контактують з вібратором). Наприклад, при змішуванні комбікормів число компонентів може доходити до 15-20. Компоненти відрізняються один від одного розмірами, масою, щільністю, фрикційними, аеродинамічними властивостями і т.д. Підхід, пов'язаний з вивченням руху кожної фази і компонента, практично нереальний.

Обумовлено це наступним:

1. До сих пір не з'ясовано механізм міжфазної і міжкомпонентної взаємодії в гетерогенному середовищі;
2. Необхідно вводити функції розподілу часток за розмірами, щільністю і т.д. .;
3. З визначення функції розподілу випливає необхідність знання усієї кількості частинок того або іншого компонента;
4. Отримані рівняння руху не є лінійними, і для їх наближеного рішення необхідно застосування методів осереднення.

Конкретні прийоми осереднення досі недостатньо вивчені. Зокрема, спірними є пропозиції осереднення по деякому об'єму, розмірам компонентів і т.д.

У зв'язку з вищесказаним, в нашій роботі ми використовуємо підхід, заснований на дуалізмі: частка - суцільне середовище.

По - іншому, наш фізичний процес може бути описаний як з використанням математичного апарату, заснованого на уяві про об'єкт як системи частинок, так і за допомогою формалізму, заснованого на рівняннях суцільних середовищ. Такий опис дає необхідну інформацію про процеси руху елементів шару сипкого матеріалу та їх перемішуванні.

За характером руху окремих частинок, елементів середовища можна побічно судити про процес змішування сипучих матеріалів і виявити механізми управління цим технологічним процесом. Очевидно, що ми ставимо собі за

мету - дати в основному якісний опис явищ, що протікають в камері змішування пропонованого вібраційного змішувача.

2.2 Сили, що призводять до циркуляції продукту

Розглянемо відносний рух частинки в віброкиплячому шарі змішуваного матеріалу. Схема сил, що діють на одиночну частку в такому русі, представлена на рис. 2.2

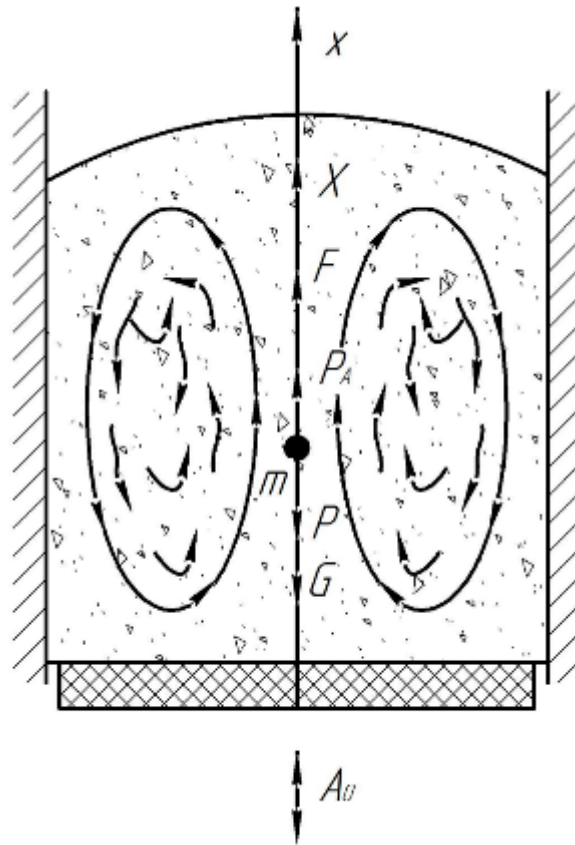


Рисунок 2.2 - Схема сил, що діють на частку в віброкиплячому шарі (F , P - усереднені за період коливань сили сухого тертя і аеродинамічного опору)

Нам слід врахувати наступні сили, що діють на частинку:

- силу тяжіння

$$G = \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_r g, \quad (2.13)$$

де d - еквівалентний діаметр частинки;

ρ_r - щільність матеріалу частинки;

g - прискорення вільного падіння;

- силу Архімеда від впливу на частку навколишнього середовища

$$P_A = \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_c g, \quad (2.14)$$

де ρ_c - щільність середовища, що оточує частку;

- силу аеродинамічного опору від впливу повітряного потоку:

$$P = \frac{1}{8} \pi c_B d^2 \dot{x} \text{sign}(\dot{x}), \quad (2.15)$$

де c_B - коефіцієнт опору частки повітряному потоку;

- силу сухого тертя, що моделює взаємодію частинки з іншими частин-

ками:

$$F_{(\dot{x})} = \begin{cases} -F_+, \text{ при } \dot{x} > 0; \\ 0, \text{ при } \dot{x} = 0; \\ +F_-, \text{ при } \dot{x} < 0. \end{cases} \quad (2.16)$$

- переносну силу інерції, оскільки ми розглядаємо відносний рух

$$J = mA\omega^2 \cos \omega t, \quad (2.17)$$

де A - амплітуда коливань середовища в точці, яка співпадає з центром частинки.

Дамо деякі коментарі по введеним силам. Зокрема, при введенні сили сухого тертя передбачається, що модуль сили тертя більше при русі частинки вниз, у напрямку віброднища, ніж при русі вгору. Якщо розглядати віброкиплячий шар як рідину, то тиск на частку буде тим більше, чим вона ближче до дна ємності. Цим і пояснюється введена вище асиметрія сил сухого тертя.

Припускаємо також, що повітряний потік і частинки, які знаходяться навколо, здійснюють лише коливання. В абсолютному русі це не так - інші частинки, крім коливань, здійснюють спрямовані руху. Але ми розглядаємо відносний рух і використання цієї гіпотези цілком виправдано.

Звернемо увагу, що результат усереднення сили тертя за період коливань виявився не нульовим. Більш того, знак цієї сили змінився в порівнянні з тим, який передбачався раніше. Це означає, що за рахунок асиметрії сила сухого тертя $F_+ \neq F_-$ частка як би виштовхується нагору (рис. 2.2). Цей висновок вірний щодо усередненого (повільного руху).

Механізм появи підйімальної сили вичерпно пояснений в роботах Блехмана. Суть його полягає в тому, що при асиметрії сил сухого тертя ($F_+ < F_-$) частка протягом деякого часу за період коливань буде переміщатися щодо середовища вгору, коли діє сила F_+ . Протягом другого напівперіоду частка або залишається на місці (якщо сила сухого тертя F_- в цей час більше переносної сили інерції), або пересунеться вниз на меншу відстань, ніж при русі вгору. У усередненому русі з'являється повільний рух вгору, тобто з'являється виштовхуюча сила у вигляді середньої за період коливань сили сухого тертя. У усередненому русі сила тертя як би перетворилася за рахунок її асиметрії з сили опору в рушійну силу.

Головна особливість цієї сили полягає в тому, що вона представляє в'язко-квадратичний опір частки в повітряному потоці. Тут так, як і у випадку з сухим

тертям, присутня силова асиметрія. Коли синус позитивний, то максимальний аеродинамічний опір складе:

$$P_+^{\max} = m\beta(\dot{X} + A\omega)^2, \quad (2.18)$$

Коли синус негативний, то:

$$P_-^{\max} = m\beta(\dot{X} - A\omega)^2. \quad (2.19)$$

Але в даному випадку існує також тимчасова асиметрія, що призводить до зменшення в середньому за період коливань цього виду опору.

Механізм виникнення джерела такого зменшення пояснює рис. 2.3, де представлений суміщений графік швидкості і аеродинамічного опору частинки.

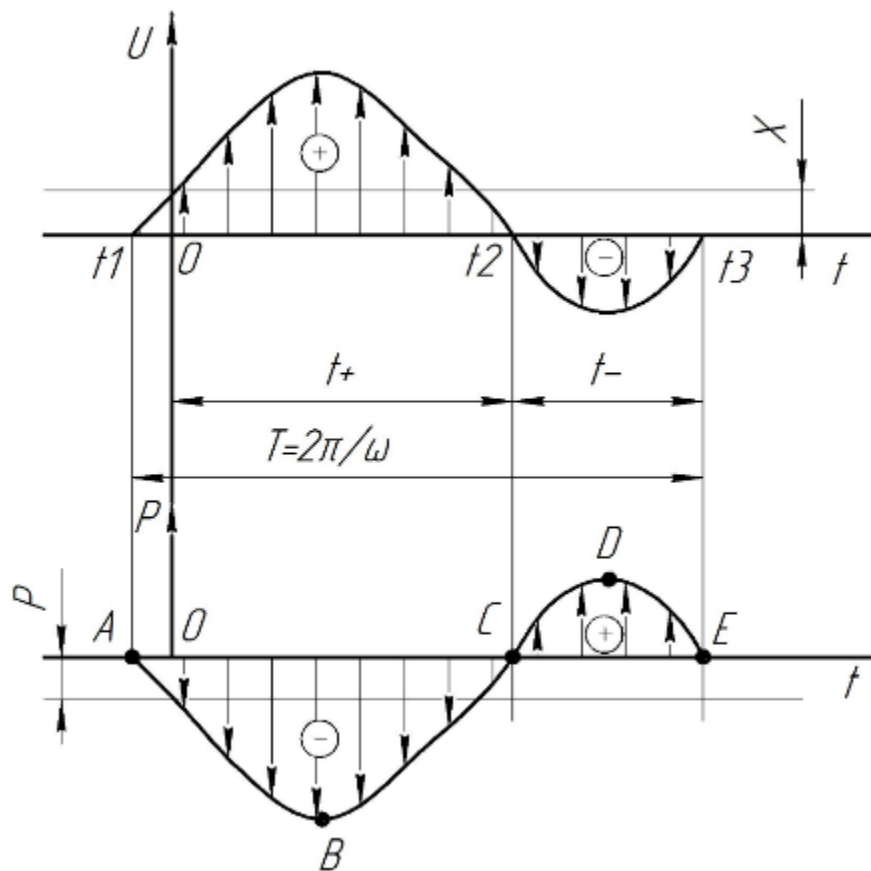


Рисунок 2.3 - Спільний графік швидкості і сил аеродинамічного опору частинки

Отже, відносна швидкість частинки в шарі дорівнює:

$$U = X + A\omega \sin \omega t. \quad (2.20)$$

Звідси можна зробити висновок, що при $X > A\omega$ характер руху частинки є пульсуючим, а при $X < A\omega$ мають місце ковзання частинки відносно середовища вгору і вниз. Цікавість представляє саме другий тип руху.

В середньому за період коливань аеродинамічний опір на частку складе:

$$\langle P \rangle = \frac{1}{T} (\langle P_+ \rangle - \langle P_- \rangle) = \frac{\omega}{2\pi} (\langle P_+ \rangle - \langle P_- \rangle). \quad (2.21)$$

де T - період коливань;

P_+ - середній опір за проміжок часу руху частки вгору;

P_- - середній опір за проміжок часу руху частки вниз.

Для знаходження моментів часу t_1, t_2, t_3 зупинки частинки прирівняємо вираз (2.20) до нуля і знайдемо його корені:

$$t_1 = -\frac{1}{\omega} \arcsin \frac{\dot{X}}{A\omega}, \quad (2.22)$$

$$t_2 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{\dot{X}}{A\omega} + \frac{\pi}{\omega}, \quad (2.23)$$

$$t_3 = -\frac{1}{\omega} \arcsin \frac{\dot{X}}{A\omega} + \frac{2\pi}{\omega}, \quad (2.24)$$

Таким чином, за проміжок часу $t_+ = t_2 - t_1$ - аеродинамічний опір частки буде направлено вниз, за період $t_- = t_3 - t_2$ - аеродинамічний опір частки буде направлено вгору.

Тепер у нас є всі дані для підрахунку середнього за період коливань аеродинамічного опору частки відповідно до формули (2.21). Бачимо, що ця величина залежить не тільки від $\frac{\dot{X}}{A\omega}$, як у випадку сухого тертя, але і від значень X та $A\omega$ окремо. Зауважимо, що співвідношення швидкостей входить в число факторів даного процесу через величини t_1, t_2, t_3 .

Очевидно (рис. 2.3), що усереднене за період коливань аеродинамічний опір частки буде направлено вниз. Але цей опір істотно менше, ніж звичайний аеродинамічний опір, зовсім зникаючи в разі $X=0$.

Таким чином, рівняння повільного руху частки в загальному вигляді можна представити так:

$$\left\langle \frac{F}{m} \left(\frac{\dot{X}}{A\omega} \right) \right\rangle = \beta \left(\frac{\dot{X}}{A\omega}, \dot{X}, A\omega \right) + g_1. \quad (2.24)$$

Оскільки величини A і ω відомі, то з цього рівняння в принципі може бути визначена єдина невідома величина X - швидкість спливання частки в віброкиплячому шарі матеріалу. Ця швидкість встановлюється такою, щоб усереднені сили аеродинамічного опору, сухого тертя, а також сила ваги і сила Архімеда взаємно компенсували одна одну.

У зв'язку зі складністю сукупності рівнянь (2.22-2.24) визначення X для кожного конкретного випадку може бути проведено будь - яким чисельним способом, наприклад з використанням програмного продукту MathCAD.

Таким чином, ми показали механізм підйому часток вгору по центру камери змішування. Досягнувши верхньої поверхні змішувача матеріалу, частка відтісняється до периферії - стінок камери змішування. Оскільки стіни не вібрують, то біля них немає руху повітряного потоку, оскільки реалізується відомий в гідродинаміці принцип прилипання. Отже, під стінами частка гальмується, підйомна сила зникає, і частка опускається вниз під дією власної ваги. Опускаючись вниз і будучи відтісненою до центру вібраторної камери, частка знову починає підніматися по центру камери змішування. У зв'язку з цим встановлюється безперервна циркуляція частинок, що і призводить до їх перерозподілу в об'ємі камери, тобто перемішування.

2.3 Дослідження характеристик процесу змішування

У просторовому русі в'язкої ізотропної системи, як це має місце в нашому випадку, приймається узагальнений закон Ньютона, який встановлює в першому наближенні лінійну зв'язок між тензором напружки P і тензором швидкостей деформації S [20].

$$P = 2\mu\dot{S}, \quad (2.25)$$

де μ - динамічний коефіцієнт в'язкості шару ($\mu = \nu\rho$).

Вираз для механічної енергії, дисипованої в одиниці об'єму шару і в одиницю часу, можна записати у вигляді:

$$N = P\dot{S}, \quad (2.26)$$

або, з урахуванням (2.25)

$$N_1 = 2\mu\dot{S}^2. \quad (2.27)$$

Для одиниці маси цей показник можна підрахувати за формулою:

$$N = \frac{2\mu\dot{S}^2}{\rho} = 2\nu S^2. \quad (2.28)$$

Квадрат величини тензора S дорівнює сумі квадратів його компонентів [21].

$$\begin{aligned} \dot{S}^2 = & \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x_2}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial x_1}\right)^2 + \\ & + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial x_1} + \frac{\partial v}{\partial x_2}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial x_2} + \frac{\partial w}{\partial x}\right)^2. \end{aligned} \quad (2.29)$$

Остаточний вираз для дисипованої в одиниці маси і в одиницю часу енергії (тобто питомої потужності дисипації) матиме вид:

$$\begin{aligned} N = 2\nu \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x_2}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial x_1}\right)^2 + \right. \\ \left. + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial x_1} + \frac{\partial v}{\partial x_2}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial x_2} + \frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 \right\}. \end{aligned} \quad (2.30)$$

Таким чином, потужність дисипації залежить як від властивостей змішаного матеріалу, що представляються інтегрально коефіцієнтом кінематичної в'язкості ν , так і режимних A , ω і геометричних h , D (рис. 2.1) параметрів змішувача. Саме параметри A , ω , h , D задають певні компоненти і величину деформації шару. При цьому потужність пропорційна квадрату цих деформацій.

Для реального визначення потужності дисипації в процесі змішування реєстрували потужність, споживану електродвигуном (зрозуміло, за виключенням потужності холостого ходу). Для підрахунку потужності дисипації використовували параметри руху лише по вертикальній координаті x . При цьому застосовувалась модель Лоренца - спрощений аналог рівнянь (2.30).

Зіставляючи криві потужності електродвигуна, отримані в ході експерименту, і потужності дисипації, підраховані чисельним способом, бачимо велику схожість між ними (рис. 2.4). На підставі цих досліджень можна стверджувати, що основний внесок в дисипацію енергії дає компонента руху уздовж вертикальної осі в напрямку впливу вібрацій. Збільшення деформації шару будь-якої координати призводить до збільшення потужності дисипації. Але найбільший внесок у дисипацію дає рух по координаті x . Це складний рух включає компоненти циркуляції, вібрації і хаосу.

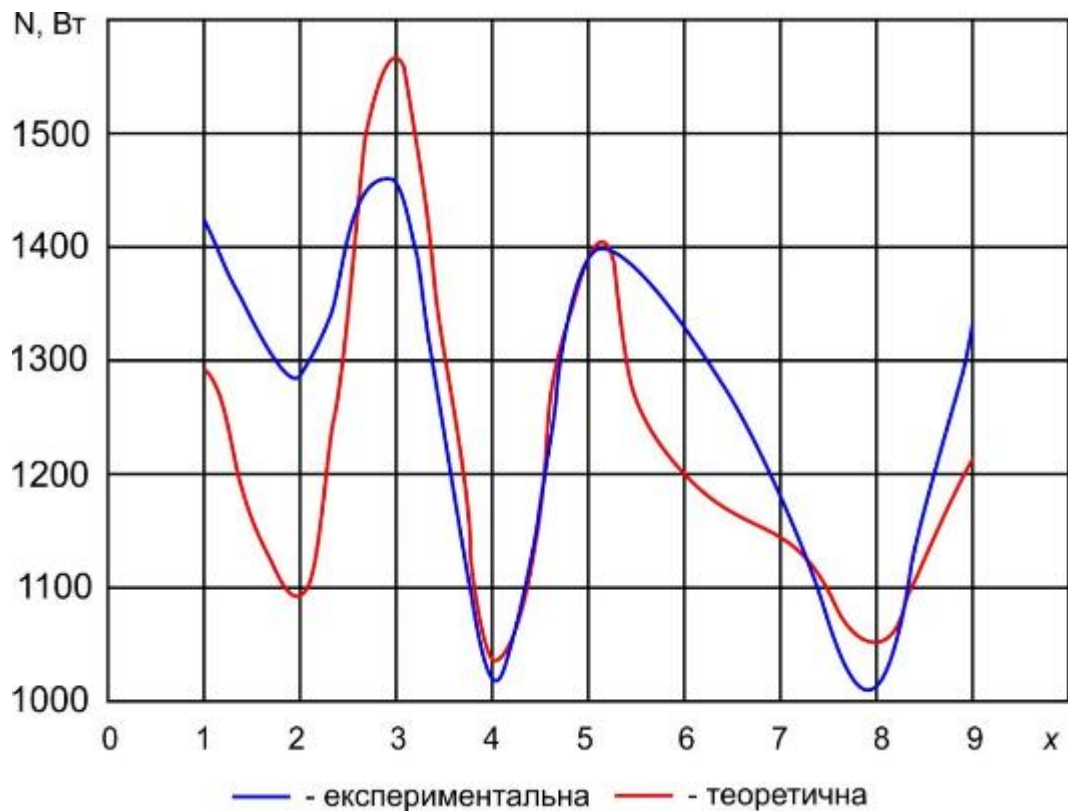


Рисунок 2.4 - Зіставлення потужності електродвигуна і потужності дисипації

Для опису процесу змішування І.Я. Федоренко була отримана формула, в яку входить потужність дисипації N . Ця формула пов'язує однорідність суміші Θ з параметрами процесу змішування і часом t .

$$\theta = \frac{N}{W} \left\{ t - (t - t_1) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{t_1}\right) \right] \right\}, \quad (2.31)$$

де W - модуль змішування, що показує, яка робота відбувається при збільшенні однорідності 1 кг суміші на 1%, Дж/кг·%;

t_1 - постійна, що має розмірність часу, і також характеризує фізико-механічні властивості змішувача;

t - час змішування, хв.

Як видно, однорідність суміші і потужність дисипації, пов'язані прямо пропорційною залежністю. Збільшення інтенсивності дії вібрації призводить до збільшення потужності дисипації і однорідності суміші.

Як приклад на рис. 2.5 приведена теоретична крива, побудована відповідно до формули (2.31), точки відповідають експериментальними даними

Для визначення значень W і t_1 в вібраційному змішувачі змішували компоненти комбікорму з насінням ячменю, які служили контрольним компонентом. При проведенні експерименту інтенсивність вібрації і наповнення змішувача були незмінними ($\omega=180 \text{ с}^{-1}$, $a=9 \text{ мм}$, $h=350 \text{ мм}$), змінювався лише час змішування, при якому знімалися значення однорідності суміші. Отримавши експериментальні значення однорідності суміші провели їх апроксимацію кривій виду (2.31), отримавши при цьому наступну залежність:

$$\theta = 31,9 \left[2,63 + (t - 2,63) \exp\left(-\frac{t}{2,63}\right) \right]. \quad (2.31)$$

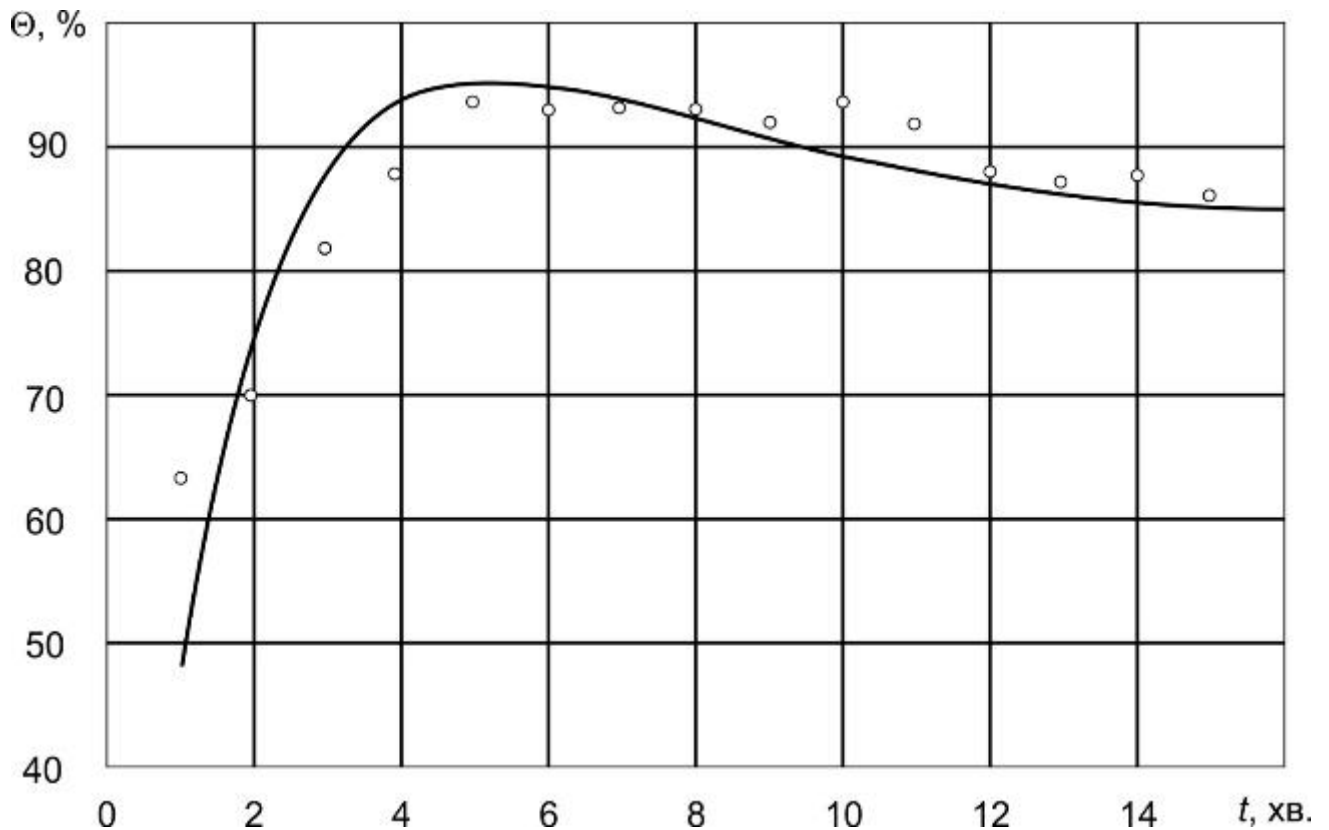


Рисунок 2.5 - Крива змішування для вібраційного змішувача

Коефіцієнт кореляції між залежністю (2.31) і експериментальними точками становить 0,82. Таким чином, з експерименту стало відомо відношення $N/W = 31,9 \text{ \%}/\text{хв.}$ та $t_1 = 2,63 \text{ хв.}$ (додаток В). Підставляючи сюди розрахункове значення N або потужність електродвигуна (в розрахунку на одиницю маси змішаного матеріалу), можна знайти W - модуль змішування.

Використовуючи ці дані, можемо визначити:

- оптимальний час змішування

$$t^* = 2t_1 = 2 \cdot 2,63 = 5,26 \text{ хв.};$$

- максимальну однорідність суміші

$$\theta_{\max} = 1,135 \cdot \frac{N}{W} \cdot t_1 = 1,135 \cdot 31,9 \cdot 2,63 = 95,01\%$$

- однорідність суміші при необмеженому часі змішування

$$\theta_n = \frac{N}{W} \cdot t_1 = 31,9 \cdot 2,63 = 83,8\%$$

Таким чином, максимальна однорідність суміші досягається при оптимальному часі змішування.

При подальшому збільшенні часу змішування однорідність знижується, оскільки процеси поділу суміші починають домінувати над процесами змішування. При цьому без користі витрачається енергія електродвигуна.

2.4 Висновки до розділу

1. Встановлено, що циркуляційний рух матеріалу в камері змішування (підйом по центру камери, опускання під стінами) виникає від асиметрії сил сухого тертя, що діють на кожен частку віброкиплячого шару. При цьому аеродинамічний опір частки в осцилюючому потоці повітря, генерованому віброднищем, менше, ніж в нерухомому повітрі.

2. Встановлено зв'язок якісних показників процесу змішування з дисипативним розсіюванням енергії у віброкиплячому шарі. Констатовано, що у віброкиплячому шарі спостерігається просторовий рух складових елементів, але найбільший внесок у дисипацію (розсіювання) енергії дає вертикальна складова руху шару корму, що задається віброднищем.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ

3.1 Мета і програма експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є підтвердження теоретичних положень, обґрунтування конструктивних параметрів установки для змішування комбікормів і виявлення загальних закономірностей процесу змішування. Для того щоб забезпечити методичність проведення експериментальних робіт, необхідно дотримуватися послідовності в роботі, тобто мати програму експериментальних досліджень.

Програма експериментальних досліджень складається з наступних етапів:

- розробка програм і методик, що забезпечують проведення експериментальних досліджень з мінімальними витратами часу;
- вибір незалежних і залежних змінних, що підлягають дослідженню, вибір якісних і кількісних рівнів, досліджуваних факторів;
- підготовка експериментальної установки і вимірювальної апаратури, проведення експериментів і математична обробка отриманих даних.

Дані етапи знаходяться в нерозривному зв'язку з теоретичною частиною роботи. Програмою експериментальних досліджень передбачається вирішити такі задачі:

- дослідити вплив конструктивних і кінематичних параметрів процесу на якість змішування;
- визначити оптимальні параметри і режими роботи установки.

3.2 Методика експериментальних досліджень

Дослідження проводилися в лабораторії кафедри інжинірингу технічних систем Дніпровського державного аграрно-економічного університету на базі розробленої експериментальної установки вібраційного змішувача комбікормів

за стандартними та розробленими методиками на спеціально виготовленій установці (рис. 3.1).

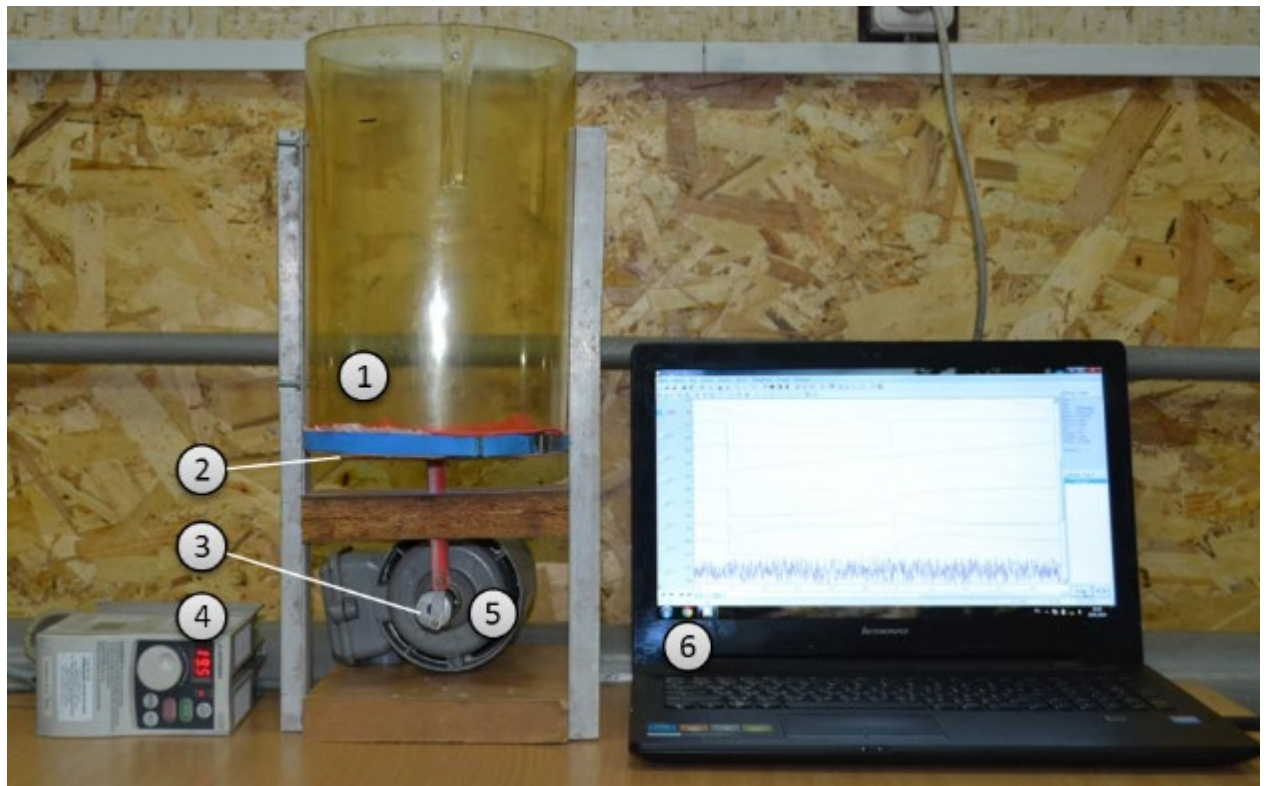


Рисунок 3.1 – Експериментальний вібраційний змішувач (а) та ексцентрик зі змінним ексцентриситетом (б): 1 – бункер змішувача; 2 – віброднище; 3 – ексцентрик; 4 – частотний регулятор Mitsubishi S 500; 5 - електродвигун АІР 56 А2; 6 - ПЕОМ

Модель експериментального вібраційного змішувача виконана виходячи з визначених в розділі 2 параметрів. Вібропривід змішувача представляв собою кривошипно-шатунний механізм з можливістю зміни ексцентриситету. Привід здійснювали від електродвигуна АІР 56 А2, потужністю 0,13 кВт, який керувався частотним перетворювачем Mitsubishi S 500. Потужність на привід знімався в режимі реального часу за допомогою ПЕОМ, до якої був під'єднаний

частотний перетворювач. Характеристики експериментального змішувача наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Характеристики експериментального вібраційного змішувача

Показник	Частота вібрації днища f , Гц	Амплітуда коливань днища A , мм	Об'єм бункера змішувача V , м ³	Потужність на привід N , кВт
Значення	6...18	2...8	0,006	0,12

Проби для визначення контрольного компоненту у суміші відбиралися по закінченню циклу змішування. В якості основного компонента використовувалася подрібнена пшениця, модуль помелу складав 1,2 мм. В якості контрольного компонента, згідно ОСТ 70.19.2-83, використовували насіння ячменю, що вводяться в комбікорм в кількості 5 %.

Математична обробка результатів проводилася з використанням комп'ютерних програм Statistica 6.0 та Microsoft Excel на ПЕОМ. При визначенні адекватності моделі (по множинному коефіцієнту кореляції та F-тесту) використовували дані статистичної обробки і програму Microsoft Excel. При визначенні оптимальних значень факторів використовували програму Statistica 6.0.

Дослідження з визначення залежностей впливу конструктивно-технологічних параметрів вібраційного змішувача на ефективність процесу змішування проводились із застосуванням методу математичного планування багатофакторного експерименту, який дозволяє визначити математичні моделі процесів у вигляді рівнянь регресії (полінома) другого порядку [44]:

$$y = a_0 + \sum_{k=1}^k a_k x_k + \sum_{k=1}^k a_{ij} x_i x_j + \sum_{k=1}^k a_{ii} x_i^2, \quad (3.1)$$

де a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii} – коефіцієнти регресії;

x_i, x_j – незалежні змінні фактори.

Рівняння регресії другого порядку визначаються у кодованому вигляді. Кодування факторів здійснюється за формулою

$$X_i = \frac{A_i - A_{oi}}{\varepsilon}, \quad (3.2)$$

Факторами експерименту були обрані частота вібрації днища f , Гц (x_1), амплітуда коливань днища A , мм (x_2) і час змішування t , с (x_3).

Частоту вібрації днища змінювали шляхом зміни частоти обертання електродвигуна приводу за допомогою частотного регулятора; зміну амплітуди коливань здійснювали шляхом встановлення різних ексцентриків.

Критеріями оптимізації є питома енергоємність процесу змішування q , Вт·год/кг та його однорідність Θ , %.

Для визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів використовувався критерій оптимізації: питома енергоємність роботи змішувача q , який розраховувався за формулою:

$$q = \frac{N}{Q}, \quad (3.3)$$

де N – потужність приводу змішувача, Вт;

Q - продуктивність змішувача, кг/год.

Дослідження проводились за D-оптимальним планом Бокса-Бенкіна другого порядку для 3 факторів. Матриця плану, фактори експерименту та їх рівні представлено в таблиці 3.2. Рівні варіацій факторів були обрані з теоретичних досліджень конструктивно-технологічних параметрів змішувача (розділ 2).

Таблиця 3.2 – Матриця плану експерименту та рівні варіацій факторами

Рівні варіацій факторів, матриця досліджу	Фактори		
	x_1 (f, Гц)	x_2 (A, мм)	x_3 (t, с)
Верхній рівень (+)	18	14	300
Основний рівень (0)	12	10	240

Нижній рівень (-)	6	6	180
Інтервал варіацій факторів	6	4	60
План досліджу			
1	-1	-1	-1
2	-1	0	1
3	-1	1	0
4	0	-1	1
5	0	0	0
6	0	1	-1
7	1	-1	0
8	1	0	-1
9	1	1	1

Відношення максимальної дисперсії до суми усіх дисперсій:

$$G_p = \frac{\sigma_i^2 \max}{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2}, \quad (3.4)$$

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

$\sum_{i=1}^N \sigma_i^2$ – сума порядкових дисперсій.

Дисперсія обчислюється по формулі:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (Y_{i_u} - \bar{Y}_u)^2}{m-1}, \quad (3.5)$$

Похибки результатів вимірювань обчислюються за критерієм Стюдента:

$$\tau = t \cdot \sigma_{x_i}, \quad (3.6)$$

де t – коефіцієнт Стюдента для довірчої вірогідності p (ГОСТ 8.207-76 [45]);

σ_{x_i} – середньоквадратичне відхилення результатів вимірювань.

Більш суворі помилки вимірювань визначається з наступного виразу:

$$\frac{x_{n+1} - \bar{x}}{\sigma_i} \geq t, \quad (3.7)$$

де x_{n+1} – сумнівне значення показника;
 \bar{x} – середньоарифметичне значення вимірюваного показника;
 σ_i – середньоквадратичне відхилення результату вимірювань.

Коефіцієнт варіації визначається за формулою:

$$V = (\sigma_i / X_{cp}) \cdot 100\%. \quad (3.8)$$

Середньоквадратичне відхилення дорівнює:

$$\sigma_i = \left[\left[\sum_{i=1}^m (X_i - X_{cp})^2 \right] / (m - 1) \right]^{0,5}. \quad (3.9)$$

Середньоарифметичне значення вимірюваної величини:

$$X_{cp} = (\sum X_i) / m, \quad (3.10)$$

де X_i – значення вимірюваної величини;
 m – кількість вимірювань у досліді.

Абсолютна похибка середнього арифметичного значення відхилення визначається за формулою:

$$\Delta = \pm 3 \sigma_i. \quad (3.11)$$

Похибка досліду розраховується за виразом:

$$\Pi = \pm 3 \sigma_i / X_{cp} \cdot 100\%. \quad (3.12)$$

Адекватність моделі перевіряється за допомогою критерію Фішера.

$$F_p = \frac{S_{LF}^2}{S_y^2}, \quad (3.13)$$

де S_{LF}^2 – дисперсія неадекватності математичної моделі;

S_y^2 – дисперсія помилки дослідження.

Для адекватності моделі повинна виконуватись умова $F_p \leq F_{\text{табл}}$.

Величина довірчого інтервалу Δv_i визначається за формулою:

$$\pm \Delta v_i = \pm t S_{v_i}, \quad (3.14)$$

де S_{v_i} – квадратична похибка коефіцієнта регресії;

t – табличне значення t-критерію при числі ступенів свободи для S_y^2 .

$$S_{v_i} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}}, \quad (3.15)$$

де N – кількість дослідів.

Фізичне значення коефіцієнта v_{ij} полягає в кількісній зміні параметру оптимізації при зміні фактора на величину одного інтервалу варіювання (при закодованих факторах) або на одиницю вимірювання фактора (при розкодованих значеннях). Знак плюс або мінус перед v_i показує на збільшення або зменшення критерію оптимізації. Коефіцієнт v_0 має приблизно середнє значення критерію оптимізації.

3.3 Результати експериментальних досліджень

За результатами досліджень було отримано математичну модель впливу досліджуваних факторів на однорідність змішування. Отримана математична модель мала вигляд:

$$y_1 = 90,77 + 8,00x_1 + 2,33x_1^2 + 2,015x_2 + 3,356x_2^2 + 0,001x_3 + 0,667x_3^2 - 3,333x_1x_2 - 0,43x_1x_3 + 3,12x_2x_3 \quad (3.17)$$

За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стьюдента значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95 % є коефіцієнти при таких членах рівняння: x_1 , x_2 , x_1^2 , x_2^2 , x_3^2 , x_1x_2 .

На основі цього рівняння регресії (3.17) прийме вигляд:

$$y_1 = 90,77 + 3,12x_1 + 2,33x_1^2 + 2,015x_2 - 3,356x_2^2 + 0,667x_3^2 - 3,333x_1x_2 \quad (3.18)$$

У розкодованому вигляді модель (3.18) має вигляд:

$$\Theta = 35,3 + 2,916f - 0,064f^2 + 5,25A - 0,208A^2 - 0,0002t^2 - 0,0694fA, \quad (3.19)$$

де Θ – однорідність змішування, %;

f - частота вібрації днища, Гц;

A - амплітуда коливань днища, мм;

t – час змішування, с.

Графічну інтерпретацію попарних взаємодій досліджуваних факторів на однорідність змішування при фіксованих оптимальних значеннях представлено на рис. 3.2 – 3.4.

Залежність, представлена на рис. 3.2, а свідчить про те, що зі збільшенням частоти вібрації днища однорідність змішування збільшується в усьому діапазоні значень амплітуди вібрацій. Щодо останньої, то її оптимальне значення 10,4 мм. При цьому максимального значення 95,8 % однорідність набуває у діапазоні значень частоти 16...17,2 Гц.

Вплив часу змішування на однорідність повторює теоретичну залежність, оптимальний діапазон значень 245...262 с (рис. 3.2, б та в). Зважаючи на те, що

час змішування характеризує інтенсивність процесу змішування, можна стверджувати, що отримані результати цілком відповідають існуючій теорії змішування сипких кормів, коли по досягненню максимуму однорідності відбувається розшарування компонентів суміші, а, отже, зменшення її однорідності.

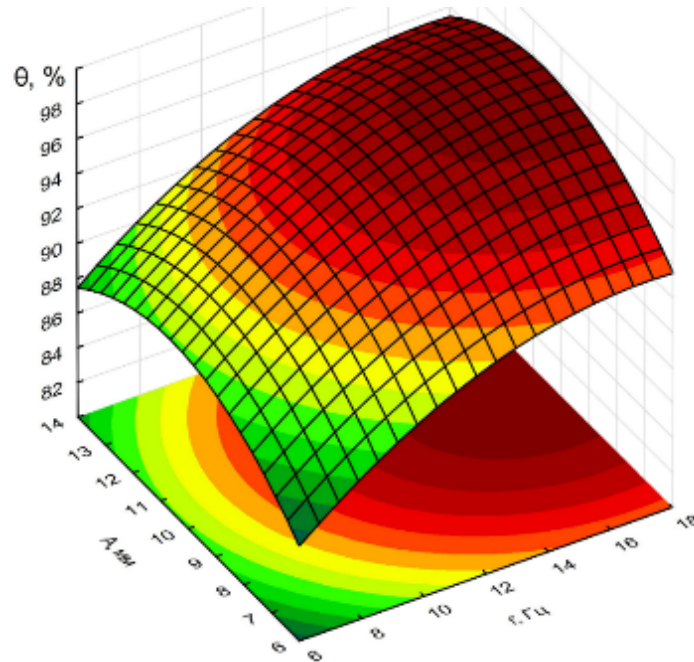


Рисунок 3.2 – Залежність однорідності змішування від частоти вібрації та амплітуди коливань днища

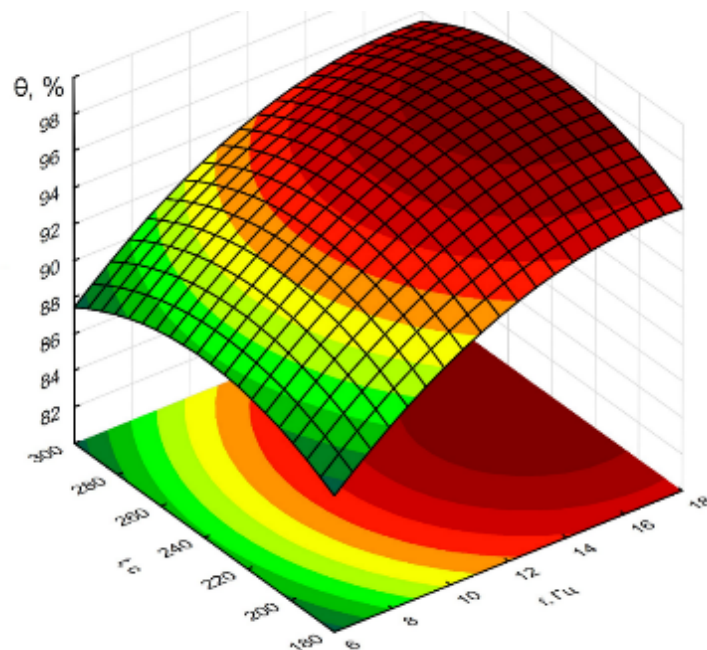


Рисунок 3.3 – Залежність однорідності змішування від

частоти вібрації та часу змішування

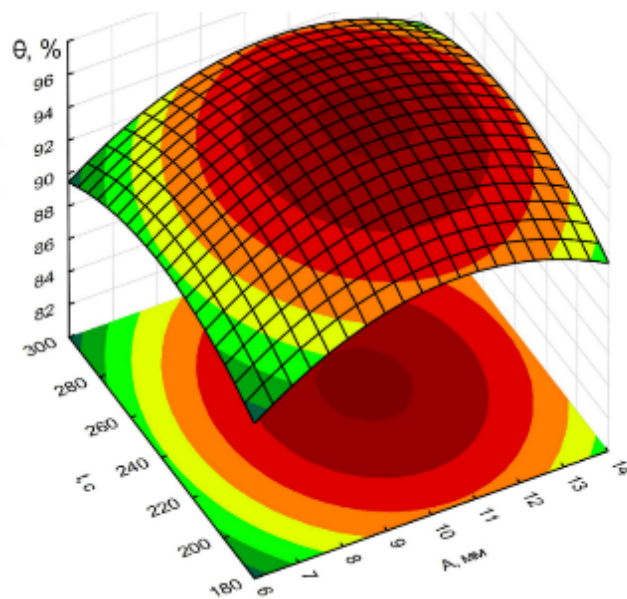


Рисунок 3.4 –Залежність однорідності змішування від амплітуди коливань днища та часу змішування

З приведених залежностей можна встановити раціональні конструкційно-технологічні параметри змішувача: амплітуда коливань днища $A=10\dots11$ мм; частота вібрації днища $f=16\dots17$ Гц; час змішування $t=240\dots260$ с.

За результатами досліджень було отримано математичну модель впливу досліджуваних факторів на однорідність змішування. Отримана математична модель мала вигляд:

$$y_2 = 3,2 + 0,4x_1 - 0,3x_2 - 0,3x_1^2 + 0,1x_2^2 - 0,5x_1x_2, \quad (3.20)$$

Декодуючи рівняння (4.20), одержимо його в натуральному виді:

$$q = -18,14 + 0,055n + 0,18\alpha - 0,00003n^2 + 0,0009^2 - 0,0003n\alpha. \quad (3.21)$$

На рис. 3.5 представлено графічну інтерпретацію залежності зміни питомої витрати електроенергії від зміни основних факторів: частоти вібрації та амплітуди коливань днища. З графіку видно, що мінімальних значень питомої енергоємності процесу досягає при частоті вібрації $f = 12 \dots 14$ Гц та амплітуді $A = 10 \dots 11$ мм.

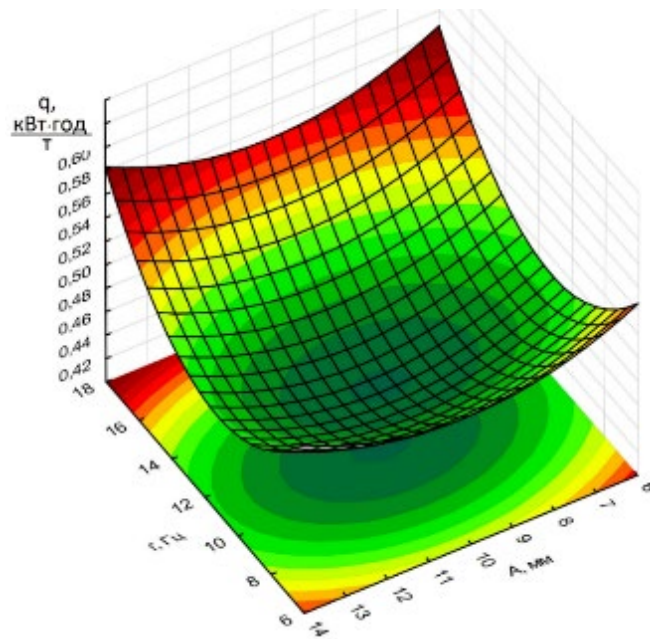


Рисунок 3.5 - Залежність питомої енергоємності змішування від частоти вібрації та амплітуди коливань днища

Зважаючи, що визначальними будуть все таки показники якості змішування, приймаємо до використання співвідношення факторів, при якому спостерігається максимальна однорідність змішування 95,8 %, при цьому питома енергоємність процесу – $0,52 \dots 0,55$ кВт·год/т.

3.4 Висновки до розділу

Враховуючи дослідження енергоємності процесу та зважаючи на те, що якість змішування буде визначальним показником, можна стверджувати, що оптимальними конструкційними параметрами будуть амплітуда коливань днища

$A = 10 \dots 11$ мм; частота вібрації днища $f = 16 \dots 17$ Гц; час змішування $t = 240 \dots 260$ с.. При цьому питома енергоємність процесу складе $0,52 \dots 0,55$ кВт·год/т, що є досить низьким показником для змішувачів сипких кормів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Охорона праці при роботі зі змішувачем сипких кормів

За результатами обстеження експериментального зразка розробленого змішувача кормів було виявлені вузли, які потребують певної уваги з точки зору безпеки праці оператора (рисунок 4.1): 1 – рама; 2 – ексцентрик; 3 – робоча камера; 4 – пружна вставка; 5 – блок керування з частотним регулятором; 6 – електрокабель; 7 – електродвигун; 8 – заземлення.

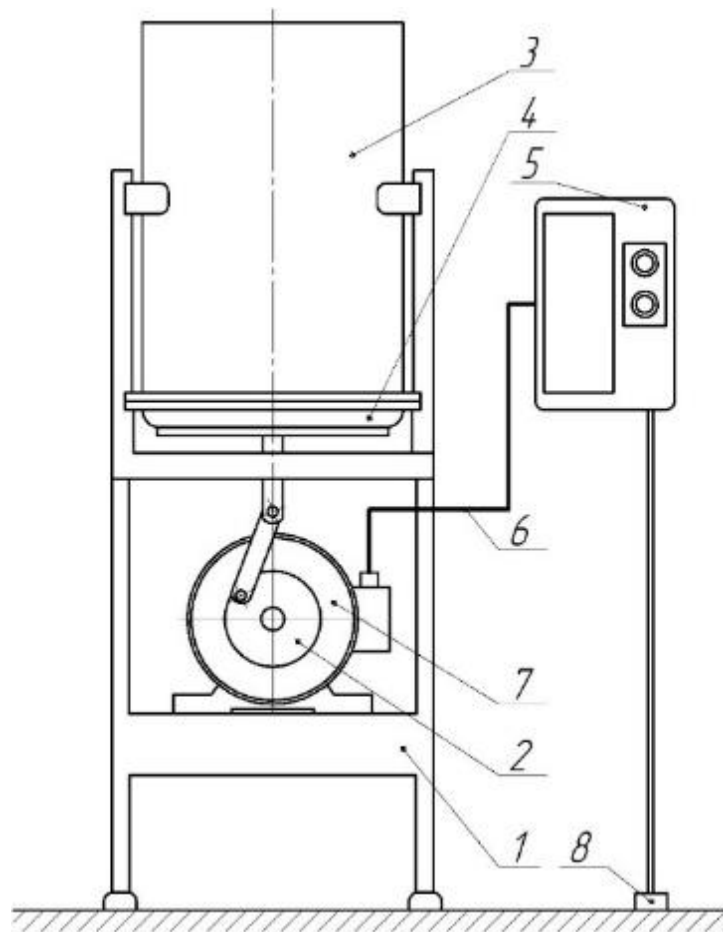


Рисунок 4.1 - Вузли, які потребують певної уваги з точки зору безпеки праці оператора: 1 – рама; 2 – ексцентрик; 3 – робоча камера; 4 – пружна вставка; 5 – блок керування з частотним регулятором; 6 – електрокабель; 7 – електродвигун; 8 – заземлення

До небезпечних виробничих факторів, які можуть виникнути при роботі із розробленим змішувачем, слід віднести: електричний струм; рухомі деталі; підвищений шум, вібрація.

4.2 Розробка проекту інструкції з охорони праці при роботі зі змішувачем комбікорму

Ознайомлення з обладнанням. Перед початком роботи працівники повинні бути ознайомлені зі структурою та принципом роботи змішувача комбікорму. Отримайте відповідне навчання та інструкції від кваліфікованих спеціалістів.

Особистий захист. Користуйтеся засобами індивідуального захисту, такими як рукавиці, захисні окуляри, фартухи та відповідний одяг. Захист від пилу та інших шкідливих речовин є обов'язковим.

Перевірка обладнання перед роботою. Перед кожним включенням змішувача переконайтеся, що всі частини обладнання у відмінному стані. Регулярно проводьте технічний огляд та обслуговування.

Завантаження і вивантаження з обережністю. Завантажуючи або вивантажуючи комбікорм, слід дотримуватися правил безпеки і уникати контакту з рухомими частинами. Використовуйте відповідні інструменти та устаткування.

Уникання перешкод. Переконайтеся, що навколишній простір вільний від перешкод та персоналу. Уникайте роботи зі змішувачем у тісних приміщеннях без належної вентиляції.

Використання засобів безпеки від отруйних речовин. Якщо використовуються отруйні або небезпечні компоненти комбікорму, дотримуйтеся вимог щодо безпеки використання цих речовин та використовуйте відповідні засоби захисту.

Екстрені вимкнення та навчання. Працівники повинні бути навчені використовувати екстрені вимикачі та інші заходи безпеки у випадках аварій чи непередбачених ситуацій.

Вентиляція. Робіть робоче місце з достатньою вентиляцією, особливо, якщо використовується пилопоглинальна добавка.

Перерви та відпочинок. Забезпечте перерви та можливість відпочинку для працівників для запобігання втомі та стресу.

Евакуаційні шляхи та засоби евакуації. Визначте евакуаційні шляхи та місця збору для використання в екстрених ситуаціях. Перевірте доступність засобів евакуації.

Ця інструкція повинна бути адаптована до конкретних умов та обладнання на вашій фермі. Завжди слід дотримуватися стандартів безпеки та вимог охорони праці, а також звертатися за консультацією до фахівців з безпеки.

Зі схеми, приведеної на рис. 4.1 зрозуміло, що основна небезпека це враження електричним струмом при пошкодженні електроізоляції двигуна, тому нами розроблено схему облаштування захисного заземлення (рис. 4.2).

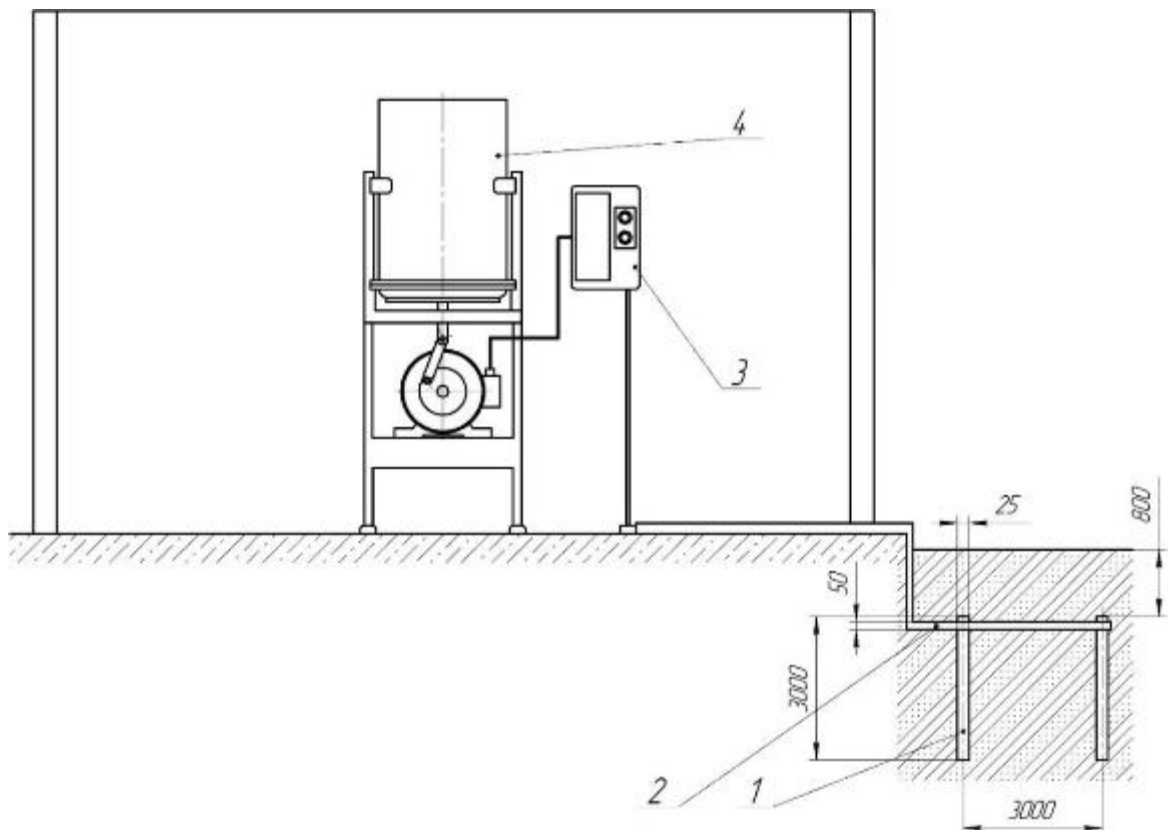


Рисунок 4.2 – Схема контурного захисного заземлення змішувача:

1 – вертикальний заземлювач; 2 – горизонтальна смуга;

3 - блок керування; 4 – змішувач

4.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Порядок дій у надзвичайній ситуації техногенного характеру, а саме при пожежі на тваринницькій фермі:

- негайно викликайте місцеву пожежну службу, надавши точну адресу та опис події.

- вмикаєте систему сигналізації пожежі, яка сповіщає працівників та сусідніх господарів про небезпеку.

- почніть евакуацію всього персоналу з безпечного вихідного шляху. використовуйте сходи та двері, уникайте лишень та інших небезпечних зон.

- якщо це безпечно і можливо, вивільніть тварини із приміщень, щоб вони могли уникнути небезпеки.

- використовуйте доступні засоби для боротьби з пожежею, такі як вогнегасники. спрямовуйте струмінь вогнегасника на джерело вогню, утримуючись на безпечній відстані.

- крім пожежної служби, телефонуйте іншим екстреним службам, таким як швидка допомога та поліція, якщо це необхідно.

- якщо можливо, закрийте двері та вікна, щоб уникнути поширення диму. забезпечте належну вентиляцію для полегшення виходу диму.

- у випадку пожежі не використовуйте ліфти для евакуації. використовуйте лише сходи.

- віддаліться від будівель та областей, де може відбутися руйнування або падіння конструкцій.

- надайте першу допомогу постраждалим, якщо це безпечно і ви навчені таким діям.

- зберігайте важливі документи (плани будівель, документацію щодо тварин і т. д.) в безпечному місці.

- після евакуації залишайтеся на безпечному відстані від спалаху та чекайте прибуття рятувальних служб.

Наголошуйте важливість попередження та навчання персоналу щодо евакуаційних процедур та заходів безпеки. Призначте відповідальних осіб для керування евакуацією та збором персоналу на безпечних місцях.

4.4 Висновки до розділу

Базуючись на нормативній документації та згідно вимог охорони праці нами проведено обстеження розробленого змішувача сипких кормів, встановлена дія небезпечних та шкідливих факторів оператора. Для їх уникнення запропоновано відповідні заходи. Для розробленого змішувача сипких кормів проведено розрахунок захисного заземлення.

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО ЗМІШУВАЧА

5.1 Вихідні дані

У даному розділі визначимо економічну ефективність застосування розробленого змішувача сипких кормів у складі установки ЗК-2.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до розрахунку техніко економічних показників

Показник	Варіанти	
	ЗК-2	розроблений змішувач
Продуктивність, т/год.	2,0	2,2
Встановлена потужність, кВт	2,8	2,2
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Строк служби, років	10	10
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань	0,10	0,10
Коефіцієнт відрахувань на ТО та ремонт	0,14	0,14
Балансова вартість, грн.	65200	-
Капітальні вкладення, грн.	-	54500

Переваги експериментального змішувача перед серійним: зменшення витрат на оплату праці за рахунок збільшення продуктивності; економія електроенергії за рахунок зниження питомої енергоємності процесу змішування.

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Порівнювати сепаратори (базовий та удосконалений) будемо за питомими експлуатаційними витратами, які включають до свого складу витрати на

заробітну платню, витрати на енергоресурси, амортизаційні відрахування та витрати на ремонт і технічне обслуговування. Розрахунок даних показників виконаємо за методиками та рекомендаціями, приведеними в [3, 49].

Таблиця 5.2 - Показники економічної ефективності розробленого змішувача

Показники	Варіанти		Проектований у % до базового
	ЗК-2 (базовий)	розроблений змішувач	
1	2	3	4
Продуктивність, т/год.	2	2,2	110,0
Встановлена потужність, кВт	2,8	2,2	78,6
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1	100,0
Балансова вартість, грн.	65200	-	-
Капітальні вкладення, грн.	-	54500	-
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	61,84	54,22	87,7
в т.ч.: заробітна платня	42,13	38,18	90,6
витрати на електроенергію	3,64	2,60	71,4
амортизаційні відрахування	8,93	7,47	83,6
витрати на ТО та ремонт	7,15	5,97	83,6
Максимальне річне навантаження, т	-	5780	-
Економія питомих експлуатаційних витрат, грн./т	-	7,62	-

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	44052,5	-
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	1,2	-

5.4 Висновки до розділу

Техніко-економічна оцінка експериментального змішувача показала, що в порівнянні з базовим ЗК-2 він має переваги за експлуатаційними витратами, переважно за рахунок зменшення енергоємності та підвищення продуктивності. При цьому строк окупності при впровадженні при завантаженні на 100 % складе 1,2 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що застосовувані в даний час змішувачі не відповідають повною мірою пропонованим до них вимогам, у зв'язку з чим виникає необхідність подальшого вдосконалення в частині зниження їх енергоємності, динамічної напруженості і шуму в роботі.

2. Теоретично визначено, що циркуляційний рух матеріалу в камері змішування (підйом по центру камери, опускання під стінами) виникає від асиметрії сил сухого тертя, що діють на кожну частку віброкиплячого шару. При цьому аеродинамічний опір частки в осцилюючому потоці повітря, генерованому віброднищем, менше, ніж в нерухомому повітрі.

3. Враховуючи дослідження енергоємності процесу та зважаючи на те, що якість змішування буде визначальним показником, можна стверджувати, що оптимальними конструкційними параметрами будуть амплітуда коливань днища $A = 10 \dots 11$ мм; частота вібрації днища $f = 16 \dots 17$ Гц; час змішування $t = 240 \dots 260$ с.. При цьому питома енергоємність процесу складе $0,52 \dots 0,55$ кВт·год/т, що є досить низьким показником для змішувачів сипких кормів.

4. Базуючись на нормативній документації та згідно вимог охорони праці нами проведено обстеження розробленого змішувача сипких кормів, встановлена дія небезпечних та шкідливих факторів оператора. Для їх уникнення запропоновано відповідні заходи. Для розробленого змішувача сипких кормів проведено розрахунок захисного заземлення.

5. Техніко-економічна оцінка експериментального змішувача показала, що в порівнянні з базовим ЗК-2 він має переваги за експлуатаційними витратами, переважно за рахунок зменшення енергоємності та підвищення продуктивності. При цьому строк окупності при впровадженні при завантаженні на 100% складе 1,2 роки.

Бібліографія

1. Єгоров, Б.В. Технологія виробництва комбікормів [Текст]: підруч. для вищ. навч. закладів/Б.В. Єгоров.–Одеса.: Друкарський дім, 2011.– 448 с.
2. Дудін В.Ю. Технологія виробництва і переробки продукції свинарства: навчальний посібник / М. Повод, О. Бондарська, В. Лихач, С. Жижка, В. Нечмілов та ін. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. – 360 с.
3. Романюха І.О., Дудін В.Ю. Курсове і дипломне проектування тваринницьких підприємств: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] /І.О. Романюха, В.Ю. Дудін; за ред. І. Романюхи. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2014. – 418 с.
4. Повод М.Г, Дудін, В.Ю., Шпетний М.Б. Розробка основних засад щодо обґрунтованого визначення розмірів санітарно-захисних зон свиноферм: монографія, Суми, «Сумський національний аграрний університет» 2019. – 96 с., ISBN 978-617-593-059-5
5. Дудін В.Ю. Експериментальні дослідження малогабаритного подрібнювача соковитих кормів/ В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, П.С. Височин // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Science and civilization – 2018, Volume 12, January 30 - February 7, 2018.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p
6. Дудін В.Ю. Формування якості годівлі повнораціонними комбікормами / В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, Ю.І. Мудрак, П.І. Черниш //Materiály XIV Mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy - 2018», Volume 8 : Praha. Publishing House «Education and Science» - S. 48-53.
7. Дудін В.Ю. Дослідження енергетичних характеристик процесу змішування сипких кормів/ В.Ю. Дудін, Я.О. Муха, О.Ю. Лук'яненко // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Conduct of modern science - 2018 , November 30 - December 7, 2018. Construction and architecture. Agriculture. Modern information technology.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p.

8. Дудін В.Ю. Дослідження процесу різання коренеплодів / В.Ю. Дудін, І.А. Бородавка//Materialy XV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019» , Volume 10 Przemysł: Nauka i studia– 36-39 s.
9. Дудін В.Ю. Дослідження подрібнювача фуражного зерна сколюючої дії / В.Ю. Дудін, О.М. Антіпов // Materialy XV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019» , Volume 10 Przemysł: Nauka i studia -33-35 s.
10. Suhadi, W. Die Shecke als Arbeitsorgan in verarbeitungs - maschinen. / W.Suhadi. //-Maschinenbautemechnik –№5, 1967, – P. 41-56. (англ)
11. Oyama J., Ayaki K. Kagaki Kikai, 1956, №20, – P. 6.
12. Lacey. P.M. Development in the Thery of Particfl mixing. J. Appl. Chem. 1954, №4, – P. 257
13. Duschek K. Optimierung der Produktion in einem bolivianischen Ziegelwerk / Ziegelindustrie International. Wiesbaden: Dauerlag
14. http://mehzavod.com.ua/Materials/%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%B%D0%B5%D1%82_%D0%9C%D0%9A%D0%A3.pdf
15. https://downloads.skiold.dk/downloads/leaflets/engelsk/disc-mill_gb.pdf
16. <https://downloads.skiold.dk/downloads/feed/psheet/130986003949.pdf>
17. <https://agrostory.com/ua/info-centre/agronomists/mobilnyy-kombikormovyuy-zavod-i-perspektivy-ego-ispolzovaniya/>
18. <https://propozitsiya.com/ua/kombikorm-na-kolesah>
19. <https://riela.com.ua/peresuvna-ustanovka-kombikormiv/>
20. Magnus, K. Schwingungen: Eine Einführung in die physikalischen Grundlagen und die theoretische Behandlung von Schwingungsproblemen [Text] / Kurt Magnus. - Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, 2008. – 74p.
21. Parkinson, A.G. Vibration and balancing of rotating continuous shafts [Text]/A.G. Parkinson, R.E.B. Bishop // Proc. IMechE, Part C: J. Mechanical Engineering Science. – 1961. – No.3. – P. 200-213.

22. Баранецька О.Р. Вібраційне змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / О.Р. Баранецька // Машинознавство. – 2000. – № 3 (33). – С. 60–63.
23. Афтаназів, І.С. Вибір технології і обладнання для змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / І.С.Афтаназів, О.Р.Баранецька, О.М. Сімчук// Машинознавство. – 1999. – № 5 (23). – С. 55–62.
24. Берник, М.П. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача [Текст] / М.П. Берник, О.В. Цуркан, Л.Д. Величко // Вибрації в техніці і технологіях. – 2001. – № 2(18). – С. 3–7.
25. Sarang O. Effects of powder cohesion and segregation on pharmaceutical mixing and granulation: dissertation doctor of philosophy: 05.2003/ O.Sarang // USA: New Jersey. – 2016. – P.1-8 (140).
26. Берник М.П., Цуркан О.В. Обґрунтування технологічних та конструктивних схем енергозберігаючих віброзмішувачів барабанного типу // Вибрації в техніці і технологіях. – 2001. – №1 (17). – С. 34–37.
27. Цуркан О.В., Величко Л.Д. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача // Вибрації в техніці і технологіях. – 2001. – №2 (18). – С. 3–7.
28. Берник П.С., Берник М.П., Цуркан О.В. Енергозберігаючі змішувачі для приготування сипучих кормів // Техніка АПК. – 2003. – №8. – С. 16–18.
29. Регресійний аналіз [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://libfree.com/114811945_ekonomikaregresiyuiy_analiz.html- Назва з екрану.
30. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: Дис.- .докт. техн. наук: 05.20.01. - К., 1997.- 425 с.
31. Гевко І.Б., Гурик О.Я. Дослідження конструкторсько-технологічних параметрів зони перевантаження гвинтових транспортно-технологічних систем. Збірник наукових праць Національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". - Том VII. - К.: Видавництво НАУ. - 2000. - с. 184-190.

32. Григор'єв А.М., Преображенський П.А. Комплексна механізація і автоматизація вантажорозвантажувальних і транспортних робіт в машинобудуванні і приладобудуванні. К.: Наукова думка, - 1967. - 116 с.
33. Радик Д.Л., Гурик О.Я. Дослідження енерговитрат шнекового змішувача. - Тернопіль: Вісник ТДТУ, 2001, Том. 6, №3 - С56-61.
34. Оришка Х.О., Гончаров В., Кравцова Г., Артюхов А.. Процес взаємодії з сипкими матеріалами у постачальному пристрої гравітаційно- роторного типу. Вісник ТДТУ, Т.6., №4., 2001. С. 88-95.
35. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин. Навч. посібник. -К.: НМК ВО, 1992. - 320 с.
36. Стадник І.Я. Науково-технічні основи дискретної дії на компоненти при перемішуванні : монографія / І.Я. Стадник. – Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2015. – 240 с.
37. Strenk F. Mieszanieimieszalniki (Mixing and mixingequipment) / F.Strenk. – Warszawa : Wydawnictwa NaukowoTechniczne, 1971. – 367 p.
38. Стадник І.Я. Науково-технічні основи процесів та розробка обладнання для безлопатевого замішування тіста : дис ... д.т.н. : 05.18.12 / І.Я. Стадник. – Київ. – 2013. – 487 с.
39. Researching of the concentration distribution of soluble layers when mixed in the weight condition / I.Stadnyk, J.Pankiv, P.Navrylko, H.Karpyk // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – 2019. – Vol. 13. – № 1. – P. 581–592. DOI: 10.5219/1129. 5
40. Корнієнко Я.М. Процеси переносу в дисперсних системах : навч. посіб. / Я.М. Корнієнко, Р.В. Сачок. – Київ, 2011. – 132 с. 10. Расслоение в псевдоожигеном слое [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://repetitora.com/rassloeniev-psevdoozhizhenom-sloe>.
41. Drobot V.I. Technological calculations in baking production / V.I. Drobot. – Condor, 2010. – 440 p.
42. Закон України «Про охорону праці»

43. НПАОП 0.00-4.21-04. «Типове положення про службу охорони праці»
44. ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять»
45. НПАОП 0.00-6.03-93 «Порядок опрацювання і затвердження роботодавцем нормативних актів з охорони праці, що діють на підприємстві»
46. Положення «Про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» (Наказ Держгірпромнагляду від 24.03.2008 року № 53).
47. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.