

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів**

**змішувача сипких кормів**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГМ-3-20

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Потапов Михайло Володимирович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Дудін Володимир Юрійович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2021

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

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві  
Освітній ступінь: «Магістр»  
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

МВПТ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Потапов Михайло Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів змішувача сипких кормів

керівник роботи Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи 07.12.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Стан питання процесів та обладнання для приготування сипких кормів у свинарстві, ефективність змішування. Періодична наукова література, патентні бази даних, нормативні документи щодо сухої годівлі свиней.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд засобів змішування сипких кормів. 2. Теоретичне обґрунтування конструктивно-режимних параметрів змішувача сипких кормів. 3. Лабораторні дослідження змішувача сипких кормів. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна оцінка розробленого змішувача. Загальні висновки. Бібліографічний список

:

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

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

:

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Дудін В.Ю., доцент		
2	Дудін В.Ю., доцент		
3	Дудін В.Ю., доцент		
4	Кравець В.В., доцент		
5	Вініченко І.І., професор		
Нормоконтроль	Гаврильченко О.С., доцент		

7. Дата видачі завдання: 10.10.2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2021 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2021 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2021 р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2021 р.	
5	Економічний	до 26.11.2021 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2021 р.	

Студент

\_\_\_\_\_

( підпис )

Потапов М.В.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

Дудін В.Ю.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

Потапов М.В. Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів змішувача сипких кормів /Випускова кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2021.

Дипломна робота складається з п'яти розділів. У першому розділі приведено розглядали основи теорії змішування, огляд відповідних технічних засобів. У другому розділі приведено теоретичні дослідження процесу змішування планетарним змішувачем. У третьому розділі приведено результати лабораторних досліджень масштабного зразка розробленого змішувача. Далі проведено аналіз та покращення умов з охорони праці. На завершальному етапі була проведена оцінка економічної ефективності застосування розробленого змішувача в умовах малої приватної свиноферми.

**Ключові слова:** сипкі корми, змішувач, планетарний механізм, однорідність змішування

Огляд конструкцій змішувачів сипких кормів / Потапов М.В.// Інжиніринг агропромислового виробництва: матеріали Всеукр. наук.-практ. студ. конф. (1-2 грудня 2021 р., м. Дніпро). – Дніпро: ДДАЕУ, 2021. – 57-59 с.

## ЗМІСТ

Вступ	7
1 Огляд засобів змішування сипких кормів	9
1.1 Загальні відомості про змішування	9
1.2 Аналіз конструкцій змішувачів	11
1.3 Вимоги до якості та параметри змішування	17
1.4 Перспективні напрями у створенні змішувачів нового покоління	23
1.5 Висновки	24
2 Теоретичне обґрунтування конструктивно-режимних параметрів змішувача сипких кормів	27
2.1 Визначення координат розташування та швидкості руху стрижнів	28
2.2 Визначення потужності на реалізацію процесу	40
2.3 Висновки	44
3 Лабораторні дослідження змішувача сипких кормів	45
3.1 Програма, методи лабораторних досліджень	45
3.2 Результати лабораторних досліджень	47
3.3 Висновки	55
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	56
4.1 Загальні визначення та поняття	56
4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища	57

4.3 Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів	59
4.4 Правила безпечного виконання робіт при приготуванні сипких кормів	60
4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	62
4.6 Висновки	64
5 Економічна оцінка розробленого змішувача	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	69
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	71
ДОДАТКИ	

## ВСТУП

Збільшення ефективності тваринництва можливе лише у разі продуктивності сільськогосподарських тварин. Вона, своєю чергою, залежить від збалансованості годівлі. Для цього до раціонів додаються комбікорм, премікс, білкові, вітамінні та мінеральні добавки. Придбання вже готових сухих сумішей та комбікормів веде до втрат, пов'язаних із витратами на транспортування. Крім того, незатребуваними залишаються власні ресурси. Збільшується собівартість кінцевої продукції. У зв'язку з цим найкраще виробляти комбікорм у місці його використання.

Виробництво корму поєднує в систему всі галузі сільського господарства (землеробство, рослинництво, тваринництво), екологію, управління сільськогосподарськими землями, раціональне природокористування та дає величезні перспективи їх розвитку. Заключною операцією при приготуванні комбікормів є змішування. Змішувачі сипких кормів, що серійно випускаються, не забезпечують встановленої однорідності суміші.

Виробництво кормосумішей та комбікормів високої якості безпосередньо на сільськогосподарських підприємствах сьогодні є дуже актуальним. Для цього потрібні нові високоефективні машини, зокрема, змішувачі. Виробництво цієї продукції є складним багатофакторним процесом, важливим етапом у якому вважається змішування. Найбільшого поширення набуло змішування за рахунок лопатей, що рухаються, обертання резервуара змішувача, проходження маси через сопла, стиснутого повітря, рідини чи пари, вібрації, ультразвуку тощо. Але вся наявна техніка не у всіх ситуаціях здатна забезпечити якісне однорідне змішування з позиції мікрооб'єму.

Мета дослідження: підвищення ефективності технологічного процесу змішування сипких кормів шляхом обґрунтування параметрів змішувача.

Для досягнення мети вирішувалися такі задачі:

- аналіз існуючих конструкцій змішувачів та перспективи їх розвитку;
- теоретичне обґрунтування параметрів змішувача;
- проведення лабораторних досліджень змішувача;



- аналіз розробленої конструкції з точки зору охорони праці;
- оцінка економічних показників змішувача.

Об'єкт дослідження – змішувач сипких кормів періодичної дії.

Предмет дослідження - закономірності робочого процесу змішувача сипких кормів.

В дослідженнях застосовувалися теоретичні методи аналізу, експериментальні методи, а саме: візуального спостереження, лабораторного експерименту, математичної статистики, порівняння експериментальних результатів та теоретичних.

## 1 Огляд засобів змішування сипких кормів

### 1.1 Загальні відомості про змішування

Змішування - механічний процес, при якому компоненти, що спочатку знаходяться окремо один від одного, утворюють однорідну суміш, тобто всі частинки розподіляються рівномірно по всьому об'єму.

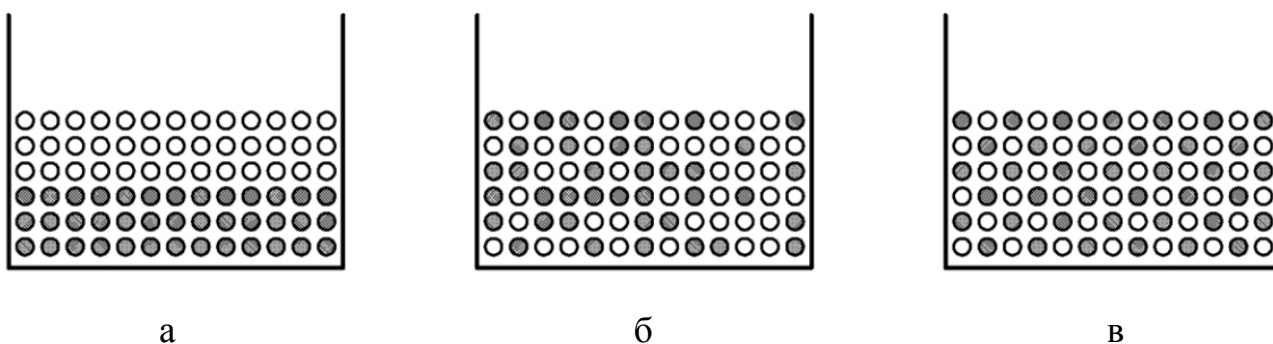


Рисунок 1.1 – Стадії змішування двох компонентів: а – вихідний стан; б – статистичний розподіл компонентів у процесі змішування; в – ідеально перемішана суміш (практично не здійснена)

Мета змішування - отримання однорідної маси зі здозованих компонентів, надання їй певної структури та запобігання поділу кінцевого продукту на складові компоненти. Енергія, що витрачається на перемішування, передається масі компонентів, що обробляється, за допомогою робочого органу - лопатевого валу змішувача.

Змішування умовно складається із трьох елементарних процесів (рис. 1.2): конвективне змішування - це переміщення групи суміжних частинок з одного обсягу місця суміші в інше використанням або ковзанням шарів відносно один одного; дифузійне змішування - це поступове переміщення частинок різних компонентів через утворені межі їх розділу; змішування зсувом - при якому суміжні шари частинок рухаються щодо один одного. Дифузійне змі-

шування відбувається значною мірою в барабанних та вібраційних змішувачах.

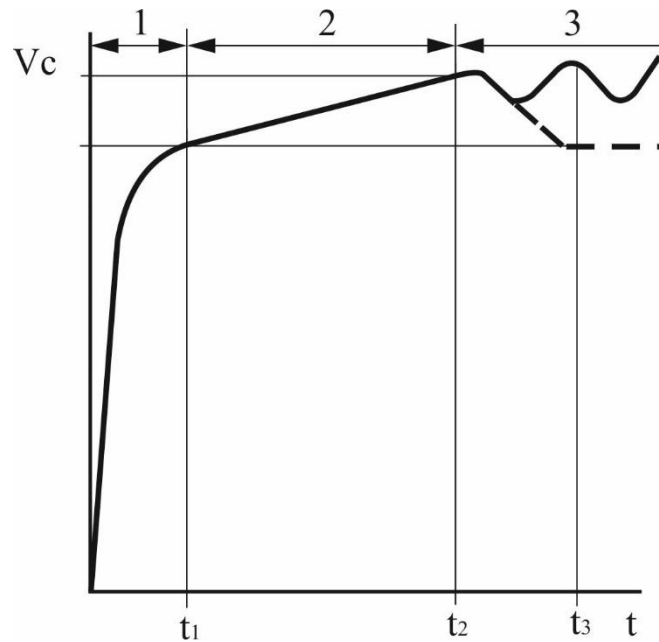


Рисунок 1.2 – Кінетика процесу змішування

У першому випадку за наявності поверхні розділу частка може переміщатися у будь-якому напрямку при зіткненні з іншою. У другому випадку маса набуває властивостей псевдорідини, і в шарі створюються умови для вільного переміщення частинок. Конвективне змішування відбувається у горизонтальних лопатевих та вертикальних шнекових змішувачах.

Швидкість змішування залежить від частоти обертання ротора і інтенсивності обміну частинок. Механізм змішування зсувом характерний для проточних стрічкових змішувачів, що мають зовнішню та внутрішню спіралі та переміщують продукт у протилежних напрямках.

У змішувачах у процесі сумішоутворення одночасно беруть участь усі три механізми змішування більшою чи меншою мірою. Внаслідок відмінності фізико-механічних властивостей компонентів змішування сипких компонентів супроводжується протилежним процесом – сегрегацією готової суміші. Сегре-

гація - це зосередження частинок, що мають близькі розміри, форму та масу в різних місцях змішувача під дією сил тяжіння (гравітаційних сил).

Закінчення процесу змішування слід встановлювати у той час, коли явище сегрегації ще почало помітно проявлятися. У загальному випадку процес змішування є зміною концентрації будь-якого компонента в часі в робочій камері змішувача. Для змішувачів періодичної дії у загальному вигляді можна показати наявність трьох основних зон на кривій, що характеризує процес, що називається кривою змішування. Якщо поділити за часом змішування на три інтервали, то в першому переважає конвективне змішування, у другому дифузійне, в третьому сегрегація. Причому може наступити такий стан, у якому деякий час сегрегація переважатиме, і суміш частково знову розшарується.

При продовженні процесу знову можуть взяти гору явища змішування. Перші два процеси сприяють рівномірному розподілу частинок у суміші, останній перешкоджає цьому. Тому доцільно закінчення процесу встановлювати в той момент, коли явище сегрегації ще не почало помітно проявлятися, тобто необхідно закінчувати процес наприкінці другого інтервалу змішування.

## **1.2 Аналіз конструкцій змішувачів**

Горизонтальний змішувач безперервної дії 2СМ-1. Двухваловий змішувач безперервної дії 2СМ-1 складається з металевого корпусу, в якому обертаються назустріч один одному два вали з лопатками-лопатями, встановленими під кутом до осі валу. Завдяки цьому суміш компонентів інтенсивно перемішується та одночасно пересувається від місця прийому до випускного патрубку.

Швидкість руху регулюють, змінюючи кут нахилу лопатей, які кріпляться до валу за допомогою зубчастих шайб та гайок. Дослідженнями та практикою встановлено, що кращого технологічного ефекту роботи двовального

змішувача 2СМ-1 досягають при коефіцієнті заповнення жолоба 0,30-0,35, числі обертів валів 350-400 за хвилину та куті нахилу лопаток 45-55 градусів.

Для досягнення найбільшого ефекту змішування доцільно дві лопатки кожного ряду встановлювати під кутом 50 градусів до осі валу для просування продукту до розвантажувального пристрою, а третю - під кутом 20 градусів до осі в протилежному напрямку для створення зустрічних потоків продукту.



Рисунок 1.3 - Горизонтальний змішувач безперервної дії 2СМ-1

Відзначено, що зі збільшенням продуктивності змішувача загальна витрата енергії значно зростає, а питома витрата знижується.

Одновальний змішувач у порівнянні з двовальним працює менш ефективно. Ці машини добре змішують сухі компоненти, а також використовуються головним чином для введення м'яси, жиру та інших рідких добавок. Горизонтальні змішувачі, порівняно з вертикальними, є більш універсальними. Ці змішувачі придатні для змішування компонентів комбікормів з різною щільністю та розмірами частинок, наприклад різних видів кормового борошна, кукурудзяних пластівців та подрібнених макух, які складають грубий раціон великої рогатої худоби. Горизонтальні змішувачі мають невелику висоту і дозво-

ляють швидко розвантажувати комбікорм в накопичувальний бункер, що розташований під змішувачем. Вони набули широкого поширення в комбікормовій промисловості.

Змішувач типу СГК-1М. Робоча камера змішування змішувача у вигляді ванни встановлена на станині, всередині якої обертається лопатевий вал, що є трубою, на якій закріплені спіральні лопаті (праві лопаті, навиті по меншому діаметру, розташовані всередині лівих лопатей). Змішувач працює в такий спосіб.

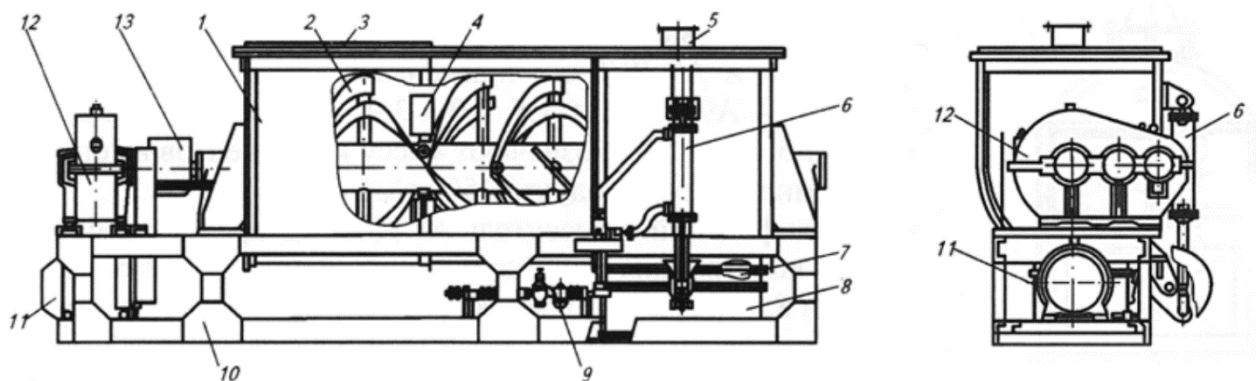


Рисунок 1.4 - Змішувач типу СГК-1М: 1 - корпус; 2 - спіральна лопата; 3,5 - фланці; 4 - лопатка; 6 - пневмоциліндр; 7 - поворотна кришка; 8 - розвантажувальний бункер; 9 - блок повітропідготовки; 10 - станина; 11 - електродвигун; 12 - редуктор; 13 - муфта

Від групи багатокомпонентних вагових дозаторів компоненти комбікормів надходять самопливом через приймальний патрубков змішувач. Зовнішні спіральні витки лопатевого валу переміщують компоненти вздовж корпусу в одному напрямку, а внутрішні витки - у зворотному напрямку, внаслідок чого вони інтенсивно та рівномірно змішуються.

Щоб інтенсифікувати процес змішування, на валу встановлені лопатки, нахил яких по відношенню до осі валу регулюють у великих межах. Тривалість змішування компонентів при частоті обертання валу 48 об/хв - 4 хв, за-

вантаження - 1 хв, вивантаження - 1 хв. У нижній частині корпусу передбачено розвантажувальний люк з кришкою, що відкривається або закривається відповідно до встановленого режиму роботи змішувача.

Змішувач типу СГК-2,5М. Змішувач складається із станини, ванни, валу з лопатями, розвантажувального люка, приводу. Робочим органом змішувача є лопатевий вал, що спирається на опори підшипників, змонтовані на стійках. На ньому розташовані вісім спіральних лопат, з яких чотири мають праву навивку, а всередині них - ліву; таким чином утворюються дві секції: одна повернена щодо іншої на 90 градусів.



Рисунок 1.5 - Змішувач типу СГК-2,5М

Для інтенсивнішого перемішування під кутом до осі валу встановлено 12 лопаток. Змішувач автоматично завантажують через приймальний патрубок із багатокомпонентних вагових дозаторів. Компоненти змішуються спіральними лопатями валу, причому зовнішні витки переміщують їх уздовж ванни в одному напрямку, а внутрішні - у зворотному. Таке розташування лопатей і лопаток, що знаходяться на валу, сприяє інтенсивному і рівномірному пере-

мішування компонентів. Після змішування готова продукція вивантажується через розвантажувальний люк бункер під змішувачем.

Горизонтальні порційні змішувачі типу ДСГ. Горизонтальні змішувачі А9-ДСГ-0Д та А9-ДСГ-0,2 призначені для змішування компонентів збагачувальних сумішей, а змішувачі А9-ДСГ-0,5, А9-ДСГ-1,5, А9-ДСГ-2,0, А9-ДСГ-3,0 – для змішування компонентів комбікормів після порційного дозування на багатокомпонентних вагових дозаторах.

Змішувач А9-ДСГ-0,5. Змішувач складається із змішувальної камери, приводу лопатевого валу, пневмоприводу, завантажувальної засувки, компресорної установки та пульта управління.

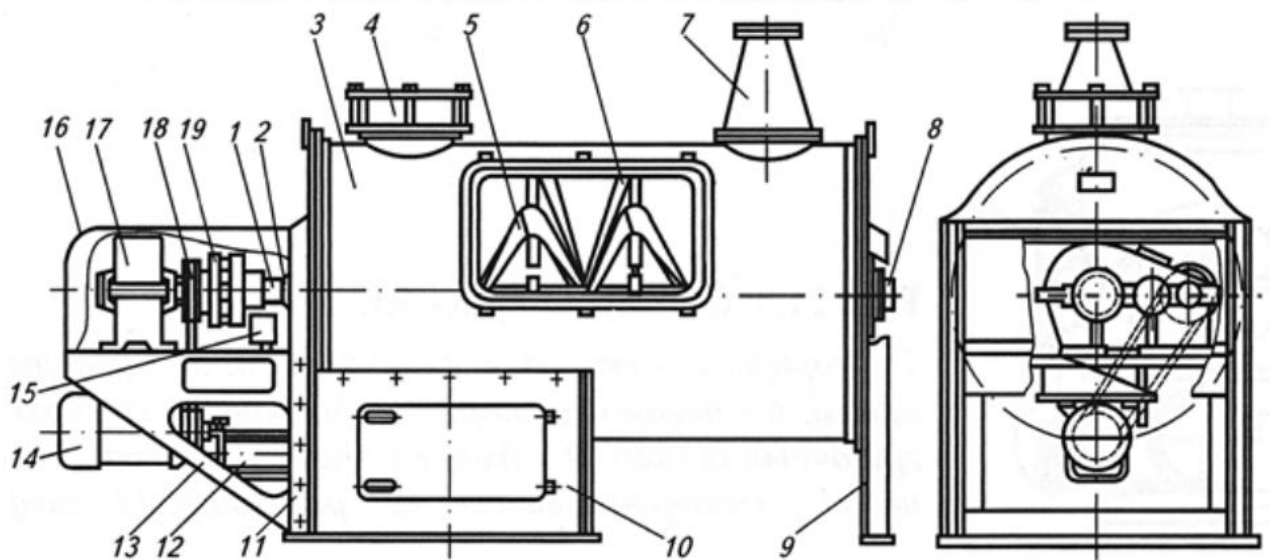


Рисунок 1.6 - Горизонтальний змішувач А9-ДСГ-0,5: 1 - вал; 2, 8 - корпуси підшипників; 3 - корпус; 4, 7 - патрубки; 5,6 - спіральні лопаті; 9, 11 - стійки; 10 - підзмішувальний бункер; 12 - пневмоциліндр; 13 - рама; 14 - електродвигун;

15 - розподільник повітря; 16 - огорожа; 17 - редуктор; 18 - клинопасова передача; 19 - муфта



Основним робочим органом є лопатевий вал, до якого на стійках прикріплені внутрішній двоходовий спіральний шнек та концентричні з ним зовнішні спіральні лопаті правої та лівої навивки. Вал спирається на підшипники кочення. При змішуванні зовнішні лопаті валу переміщують компоненти вздовж камери у бік завантаження, а внутрішні лопаті у зворотному напрямку. При розвантаженні готовий комбікорм виводиться із змішувача через бункер.

Змішувач А9-БСГ-3. Змішувач представляє зварний металевий корпус з циліндричним днищем та розвантажувальними вікнами.

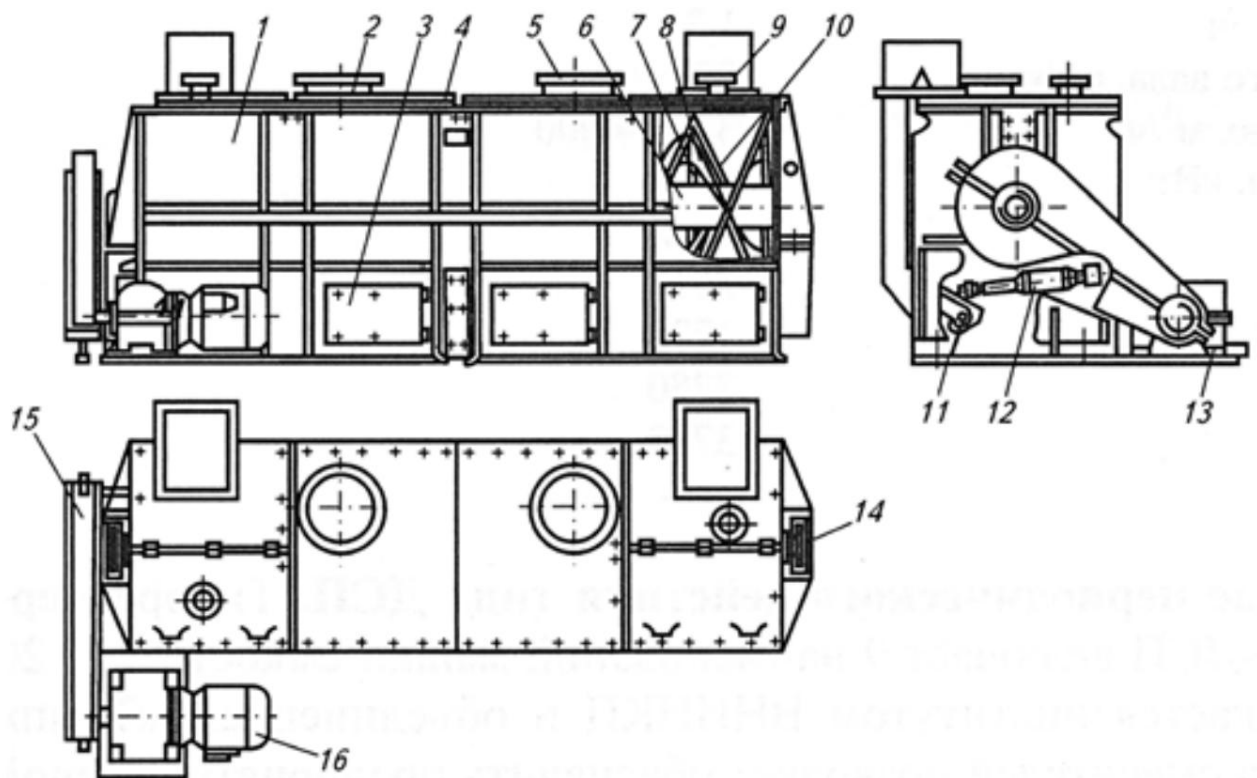


Рисунок 1.7 - Змішувач А9-БСГ-3: 1 - корпус; 2, 5 - завантажувальні патрубки; 3 - люк; 4 - кришка; 6 - лопатевий вал; 7 - стійка; 8, 10 - спіральні лопаті; 9 - патрубок; 11 - ступка; 12 - пневмоциліндр; 13 - плита; 14 - підшипник; 15 - ланцюгова передача; 16 - мотор-редуктор

Усередині корпусу змонтований лопатевий вал, на якому на стійках закріплені двозахідний шнек та концентрично йому зовнішні спіральні лопаті.

Напрямки гвинтової лінії кожної пари лопатей взаємно протилежні. Лопатевий вал змонтований на двох підшипниках і обертається від мотора-редуктора через ланцюгову передачу.

Працює змішувач в такий спосіб. Дозовані компоненти з багатокомпонентних вагових дозаторів подаються через патрубок завантаження в змішувач. Зовнішні лопаті валу переміщують компоненти вздовж валу корпусу в одному напрямку, а внутрішні - у зворотному. При цьому відбувається інтенсивне та рівномірне перемішування. Однак, незважаючи на різні вдосконалення та розробки нових конструкцій змішувального органу розглянутих типів змішувачів, вони мають ряд істотних недоліків: швидкий знос лопатей у процесі експлуатації; значну питому витрату електроенергії; складність очищення; порівняно малий об'єм заповнюваності.

У лопатевому змішувачі змішування відбувається в основному за рахунок конвекції, хороше перемішування забезпечується тільки в напрямку перпендикулярному площині лопаті, внаслідок чого отримання хорошої якості суміші досягається важко. Тому комбікорми цих змішувачах виходять з коефіцієнтом однорідності не вище 90-92%.

### **1.3 Вимоги до якості та параметри змішування**

Основний якісний показник процесу змішування - однорідність отриманої продукції, її гомогенність, що досягається за певний час за оптимального завантаження робочої камери. Однорідною вважається суміш, в якій вміст компонентів у будь-якому її об'ємі не відрізняється від заданого вмісту для всієї суміші.

Однорідність комбікормів має велике значення, оскільки добовий раціон, а тим паче одноразова подача корму тваринам і особливо птахам, дуже малі. В окремих випадках, наприклад, для птиці, вона обчислюється кількома

десятками грамів. І в цій невеликій кількості корму повинні бути всі речовини, передбачені рецептом комбікормів, БВМД, преміксів тощо.

Однорідність складу забезпечує однакову поживну цінність комбікорму у всіх частинах його об'єму. Тому параметри процесу змішування треба виконувати у суворій відповідності до вимог технології виробництва.

У процесі змішування відбувається вирівнювання концентрації окремих компонентів обсягом робочої камери змішувача. Оскільки будь-якої миті часу у різних точках змішувача показники можуть відрізнятися, то їх визначення користуються методами математичної статистики.

Так як комбікорми - суміш багатоконпонентна, то оцінку однорідності готової продукції достатньо робити за найменшим компонентом.

Як критерій оцінки однорідності комбікормів використовують коефіцієнт варіації  $v_c$  (неоднорідності), який розраховують за прийнятою кількістю вимірів  $n$  і вмісту найбільш нечисленного компонента суміші: формула розрахунку коефіцієнта варіації

$$v_c = \frac{100}{C_{cp}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - c_{cp})^2}{n-1}}, \quad (1.1)$$

де:  $C_{cp}$  - середня арифметична масова частка ключового компонента в суміші, %;

$c_i$  - масова частка ключового компонента в  $i$ -пробі, %;

$n$  - число проб.

Чим менше  $v_c$ , тим рівномірніша суміш, що характеризує ефективність роботи змішувачів.

Ефективність змішування буде тим вищою, а якість комбікорму буде тим краще, чим рівномірніше будуть розподілені всі компоненти, що становлять цю суміш. Це однаково відноситься і до виробництва збагачувальних сумішей, преміксів, мінеральних сумішей, компоненти яких дисперсні і вводять-

ся в малому відсотковому співвідношенні. Тому особливо важливо рівномірно розподіляти такі компоненти як вітаміни, солі мікроелементів, ферменти, антибіотики, що мають високу біологічну цінність.

На думку вітчизняних та зарубіжних науковців та практиків, комбікорм вважається високої якості, якщо однорідність розподілу компонентів у ньому не нижча за 95% при співвідношенні найменшого компонента до суміші 1:100000.

Дослідженнями процесу змішування встановлено вплив окремих факторів на його ефективність, яка залежить від:

- способу подачі продукту змішувач;
- частоти обертання робочих органів змішувача;
- форми робочих органів змішувача; точності дозування;
- кількісного співвідношення між компонентами;
- ступеня наповнення змішувача;
- вагового співвідношення компонентів суміші;
- форми та розмірів частинок;
- ступеня подрібнення компонентів комбікормів;
- виду наповнювача при виробництві преміксів, ступеня подрібнення

компонентів та наповнювача.

Зазначені фактори можна розділити на конструктивні, технологічні та зумовлені фізико-механічними властивостями компонентів, що змішуються.

Вивченню впливу конструктивних чинників на однорідність одержуваних комбікормів присвячені роботи багатьох вчених. Дослідження змішування проводили на змішувачах з різними робочими органами. Однак вони мають загальні напрями отримання високооднорідної суміші за рахунок зміни форми, розмірів та конструкції робочих органів.

На процес змішування впливають технологічні чинники. Так, якість змішування в змішувачі багато в чому визначається точністю дозування, яка

істотно впливає особливо в початковий момент часу. Правилами організації та ведення технологічного процесу час чистого змішування у змішувачах періодичної дії типу СГК, А9-ДСГ, А9-БСГ незалежно від їх місткості встановлено 4 хв.

Це головний доданок циклу дозування-змішування, який при встановленні в схемі одного змішувача зазвичай дорівнює 6 хв. Дозування та рівномірний розподіл у масі комбікорму або преміксу добавок, що входять у рецепт у невеликих кількостях, становлять певні труднощі. Тому введення кухонної солі, преміксів, амінокислот, антиоксидантів та ін. компонентів, що входять до складу комбікормів у кількості менше 2%, має приділятися особлива увага.

Наприклад, у мінеральних преміксах для свиней та свиноматок йодистого калію міститься відповідно 0,0007% та 0,012%, що становить 7 та 12 г на 1 тонну преміксу. У преміксах для бройлерів вміст вітаміну К<sub>3</sub> становить 0,005%, тобто 50 г, В<sub>с</sub> - 0,0025, тобто. 25 г, В<sub>1</sub> - 0,0075%. У премікси для поросних свиноматок вводиться йодистого калію 40 г, тіосульфату та бікарбонату натрію 1 та 2 г відповідно. У комбікормі для поросят-сосунів у віці до двох місяців передбачено введення кухонної солі в кількості 0,2%, або 2 кг солі на 1 тонну комбікорму.

Таким чином, при виробництві комбікормів та преміксів можна виділити однорідні суміші декількох видів: із вмістом малих кількостей добавок у співвідношенні 1: 1000000, або 1 г на 1 тонну; 1: 100 000, або 10 г на 1 тонну; 1: 10000 або 100 г на 1 т. Для отримання потрібної якості змішування застосовують метод послідовного розведення - багатоетапне змішування в змішувачах місткості яких збільшується, з додаванням наповнювача та інших компонентів, що входять до складу комбікорму в значних кількостях.

Так, наприклад, встановлена загальна закономірність щодо розподілу кухонної солі: чим менше вводиться кількість солі, тим вищий коефіцієнт неоднорідності, тобто якість суміші стає гіршою. Дана закономірність показує, що при введенні солі понад 0,3-0,4% вона розподіляється лише задовільно (V<sub>c</sub>

до 15%), менші кількості за встановлюваний час змішування (від 3 хв. 30 с до 4 хв. 17 с) розподіляється незадовільно ( $V_c$  до 32%).

Аналогічна картина спостерігається при зміні часу змішування в діапазоні від 3 хв. до 4 хв. 30 с.: чим менше час змішування, тим якість суміші гірша.

Інше положення та інший підхід повинні бути при аналізі роботи ліній попередніх сумішей зернової та гранульованої та іншої шматкової сировини. Практикою доведено, що висока якість змішування цьому етапі зовсім не обов'язково, тому час змішування в змішувачах СГК-2,5 можна зменшити до 2-2,5 хв. Слід зазначити, що на виробництві в лініях передсумішей сировини, що вимагає подрібнення, багато підприємств відключають наявні змішувачі або зовсім не встановлюють, орієнтуючись на кінцеві показники комбікорму після основного змішування.

Правильним слід визнати встановлення на цих лініях не змішувачів, а так званих змішувачів-усереднювачів чи розподільників, головне призначення яких – забезпечити рівномірне максимальне завантаження молоткових дробарок. У лініях передсумішей, так званої «важкосипучої сировини», де також встановлені змішувачі типу СГК, дослідження проводили при приготуванні комбікормів для птиці двох рецептів ПК-1 і ПК-4, а час змішування варіювали від 3 до 4 хв.

На підставі виробничих випробувань роботи змішувачів зроблено такі висновки:

значення коефіцієнта варіації з розподілу солі кухонної на етапі остаточного змішування за різних умов ведення технологічного процесу коливається від 8 до 32%;

задовільна якість суміші виходить при введенні солі в кількості не менше 0,3-0,4% і при змішуванні часу не менше 3 хв. 40 с. - 3 хв. 50 с.;

наявність ліній попереднього дозування-змішування дещо змінює загальний підхід та дозволяє запропонувати диференційований час змішування: у лініях передсумішей зернової сировини – близько 2 хв.;

в лініях передсумішей сипучої сировини - 3 хв. 40 с.

Порядок завантаження компонентів впливає ефективність процесу змішування. Рекомендується, щоб на початку процесу змішування важкі компоненти знаходилися у верхній частині камери змішувача, так як сили тяжіння у початковий період сприятимуть прискоренню їхнього інтенсивного змішування.

Великий вплив на якість змішування має ступінь заповнення камери змішувача. Оптимальний ступінь заповнення коливається не більше 0,3-0,5. Для кожного типу змішувачів існує оптимальний об'єм, який забезпечує отримання однорідної суміші.

Швидкість процесу змішування багато в чому залежить від фізико-механічних властивостей компонентів, що змішуються. Для отримання якісної суміші необхідно, щоб відмінність фізичних властивостей компонентів, що змішуються, було по можливості невеликим. Збільшення різниці щільностей компонентів, що змішуються, знижує ефективність процесу змішування. Вплив форми та стану поверхні частинок на ефективність змішування сипких продуктів вивчено ще недостатньо. На думку одних авторів, для успішного ведення процесу змішування найбільш сприятливою є куляста форма частинок, інші вважають, що компоненти з кулястими частинками швидше розширюються, ніж компоненти з подовженої форми частинками.

Зміна вологості компонентів, що змішуються, надає великого впливу на якість змішування: додавання рідких компонентів у кількості до 3% в горизонтальні змішувачі ДСГ і СГК призводить до збільшення часу змішування до 6 хв. і більше (8-10 хв.), залежно від властивостей рідкого компонента, що вводиться. Висока вологість погіршує сипкість, викликає злежування і комкування комбікормів і знижує однорідність готової продукції. Аналіз роботи змішу-

вачів цього типу показує, що однорідність комбікормів зі збільшенням довжини камери змішування покращується, стабілізується. Збільшення коефіцієнта заповнення камери змішування однорідність розсипних комбікормів знижується, а продуктивність змішувача збільшується.

У міру збільшення частоти обертання лопатевого валу однорідність комбікормів різко зростає і при 400 об/хв стає оптимальною, а потім знову знижується. Аналогічна залежність проявляється і за зміни кута нахилу лопаток до валу. Однорідність комбікормів збільшується лише до оптимального кута нахилу, що дорівнює 40-45 градусів, після якого вона знижується.

#### **1.4 Перспективні напрями у створенні змішувачів нового покоління**

Підвищення вимог до якості комбікормів за однорідністю вимагало створення змішувачів нового покоління: «Спідмікс» фірми Бюлер; параметричного ряду змішувачів ВАТ «ВНДКП»; змішувача досконалої конструкції фірми Амандус Каль; параметричного ряду змішувачів «Технекс» та ін. Перевага нових змішувачів періодичної дії полягає в тому, що в них використаний найбільш прогресивний принцип псевдозрідження матеріалу, при якому розподіл компонентів настає набагато швидше. Обертання робочих органів у такому шарі створює інтенсивну внутрішню циркуляцію всієї суміші по спіральних траєкторіях. При цьому різна щільність і різні розміри та форма частинок компонентів суміші не суттєво впливають на процес змішування.

Умови псевдозрідженого стану частинок суміші створюються конструктивно-кінематичними параметрами робочого органу змішувача. Робочі органи нових змішувачів забезпечують швидкий протиточний рух суміші компонентів вздовж осі валу і складні рухи, що сприяють багаторазовій зміні положення частинок щодо один одного.

Лопатевий вал забезпечує інтенсивну циркуляцію частинок по спіральних траєкторіях. Головні переваги таких змішувачів – ефективність, компакт-



ність та простота. Однорідність одержуваної суміші досягає 95-98% при тривалості процесу змішування 1,5-2 хв.

Сучасний змішувач повинен відповідати суворішим нормативам, що стосуються насамперед самосортування готової продукції, суворішим санітарно-гігієнічним нормам; мати підвищену гнучкість при експлуатації; бути здатним виробляти продукцію невеликими партіями; мати короткий цикл змішування. Однорідність розсипних комбікормів повинна бути не нижчою за 95-98% при тривалості процесу змішування 1,5-2 хв.

Нещодавно випущений на ринок швидкісний змішувач нової конструкції «Speedmix» фірми Bühler відповідає вищезазначеним вимогам.

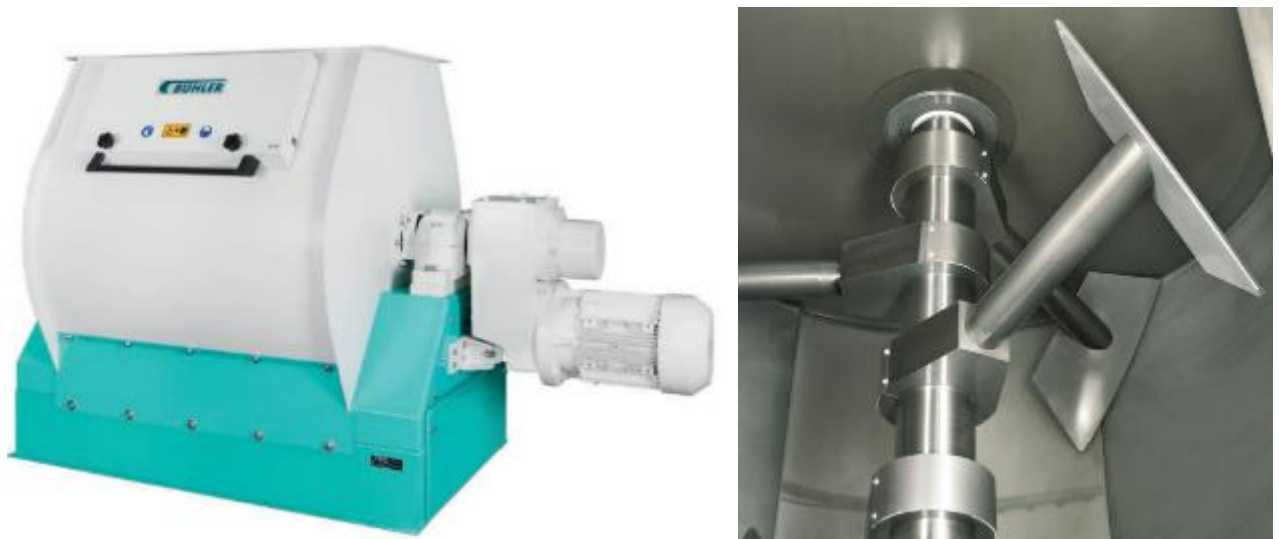


Рисунок 1.8 - Швидкісний змішувач нової конструкції «Speedmix»

Завдяки оптимальній геометрії корпусу та лопатей змішувача стало можливим отримувати комбікорми з коефіцієнтом варіації менше 5% за 90 с. при точності змішування 1:100000. Сам змішувач має компактні розміри та оригінальну форму. Змішувач «Speedmix» виготовляє чотири типорозміри місткості від 0,5 до 3,0 т., охоплюючи весь діапазон змішування від 1 до 60 т. готової продукції на годину; працює з регульованими та змінними лопатями. Переваги

змішувача: бездоганний санітарний стан: зменшено мертві зони; дизайн та конструкція змішувача забезпечують легкість та швидкість очищення внутрішніх поверхонь корпусу змішувальної камери та лопатей, гарантують відсутність недоступних зон; здвоєна випускна засувка з великим випускним отвором для випуску готової продукції та наявність дверцят для очищення камери змішування змішувача; невеликий об'єм ремонтних робіт під час технічної експлуатації; наявність змінних лопатей; невелика кількість змінних деталей; легкий доступ до внутрішніх вузлів; завантаження компонентів проводиться на всю висоту змішуючої камери; допускається часткове заповнення камери змішування дозованими компонентами до 20%; високий рівень безпеки експлуатації.

Швидкісні змішувачі фірми «ТЕХНЕКС» призначені для змішування компонентів комбікормів, білково-вітамінно-мінеральних добавок та преміксів.



Рисунок 1.9 - Швидкісний змішувач фірми «ТЕХНЕКС»

Місткість таких змішувачів від 0,005 до 2,0 т. Змішування компонентів проводиться лопатевим валом. Порівняно із змішувачами типу СГК та ДСГ час змішування скорочується з 6 хв. до 1,5-2 хв. Змішувачі забезпечені пневматичною заслінкою, що відкривається по всій довжині. Через таку заслінку готова продукція повністю вивантажується протягом кількох секунд. Форма змішувача та малі зазори (1-3 мм) забезпечують відсутність мертвих зон та налипання продукту на стінках змішувальної камери. Для введення рідини вони комплектуються спеціальними форсунками під різні рідкі компоненти.

### **1.5 Висновки**

На сьогодні для змішування компонентів комбікормів на комбікормових заводах в основному використовують горизонтальні змішувачі безперервної дії лопатевого типу та горизонтальні лопатеві та спіральні-стрічкові порційного типу. Процес змішування останніх відбувається в результаті механічного впливу робочих органів на сипучі компоненти, а перерозподіл окремих груп частинок, в основному, за рахунок конвекції суміші. Максимальне значення однорідності у таких змішувачах не перевищує 90%, що недостатньо для розподілу у готовому комбікормі мікрокомпонентів.

Для отримання комбікорму з однорідністю не нижче 95%, як вимагають сьогодні тваринницькі та птахівницькі господарства, необхідний такий вплив на компоненти, що змішуються, яке забезпечувало б ефективне конвективне і дифузійне змішування одночасно. Такі умови можна створити при змішуванні сипких компонентів у псевдозрідженому стані, тобто при інтенсивній циркуляції всієї суміші спіральними траєкторіями.

Змішувачі ДСГ, СГК і БСГ, що діють сьогодні, не дозволяють вводити в комбікорми більше 3% рідких компонентів. У змішувачах із псевдозрідженням їх введення досягає 15%. Змішувачі нового покоління можуть бути рекомендовані у виробництві комбікормів лише за наявності сертифікатів якості.

## **2 Теоретичне обґрунтування конструктивно-режимних параметрів змішувача сипких кормів**

Одним із важливих етапів на шляху виробництва сипких кормових сумішей є ефективна робота змішувального обладнання. Тому створення сучасних та більш ефективних конструкцій змішувачів є актуальною завданням, що стоїть перед інженерами.

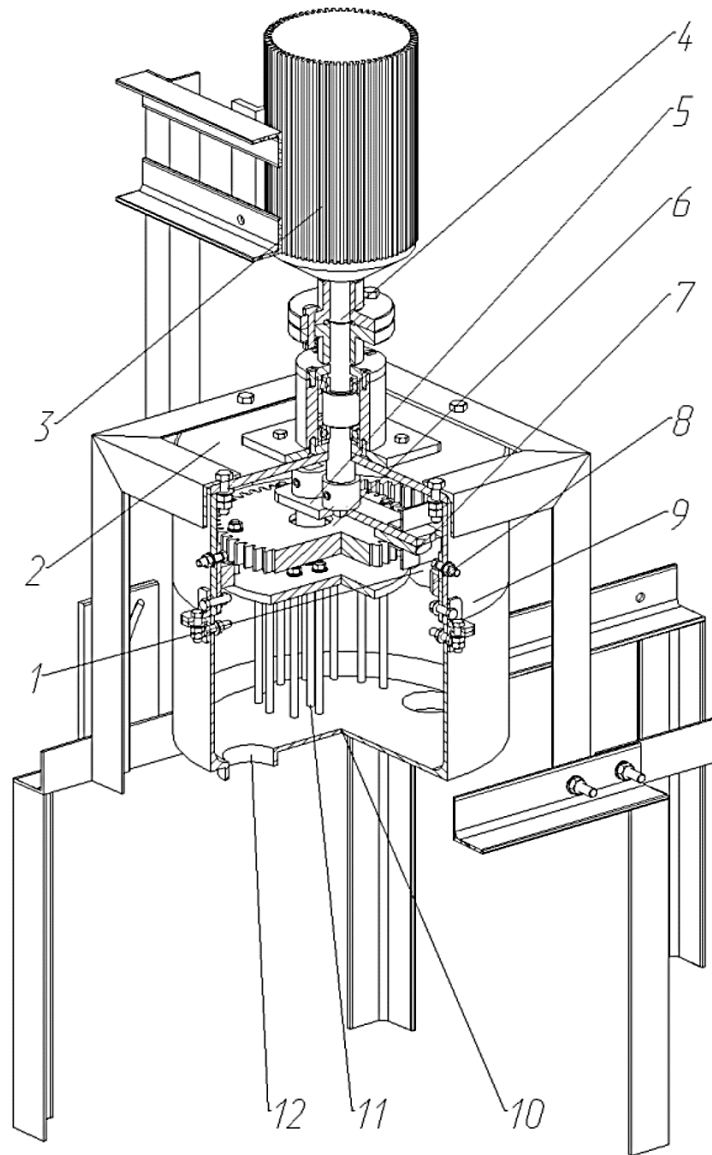


Рисунок 2.1 - Конструкція планетарного змішувача: 1 - завантажувальний пристрій; 2 – кришка корпусу; 3-двигун; 4 – вихідний вал; 5 – повідець; 6 - шестерня; 7 - противага; 8 – зубчастий вінець; 9 – корпус; 10 – ємність; 11 - мішалка; 12 – розвантажувальний пристрій

Зараз на ринку механічного обладнання представлено велику кількість різних варіантів конструкцій змішувачів. До складу конструкції розробленого змішувача планетарного типу (рис. 2.1) входить корпус 9 з кришкою 2 двигун 3. Двигун з'єднаний вихідним валом 4 з кривошипом 5. На валу кривошипа рухомо закріплена шестерня 6, що входить у зачеплення із зубчастим вінцем 8, закріпленому на корпусі пристрою. На шестірні по спіралеподібній кривій жо-

рстко закріплені циліндричні стрижні 11. Завантаження здійснюється через бункер 1, а вивантаження – через вивантажувальне вікно 12.

Хоча для стрижневих мішалок розташування по спіралі і є найбільш оптимальним з погляду виключення застійних зон, конструкція змішувача дозволяє легко міняти як самі стрижні, так і їх розташування на рухомій частині, що дозволяє підібрати оптимальну конфігурацію залежно від умов виробництва, у якому застосовуватиметься змішувач. Розглянемо процес змішування си-пких компонентів, при якому суміш знаходиться в циліндричному корпусі діаметром  $D_k=0,315$  м на неї впливають робочі органи у формі циліндрів діаметром  $d_0=0,008$  м, встановлені по спіралеподібній кривій.

## **2.1 Визначення координат розташування та швидкості руху стрижнів**

Для знаходження координат установки циліндричних стрижнів діаметром  $d_0$  по спіралеподібній кривій на площині шестерні, яка, в свою чергу, перекочується по зубчастому вінцю, закріпленому на внутрішній поверхні циліндричного корпусу змішувача, введемо полярну систему координат  $r(\varphi)$  з центром у точці  $(0,0)$ .

Точками на відстані  $r_n$  позначені розташування змішуючих стрижнів (вигляд зверху) рис. 2.2. Згідно з розрахунковою схемою, представленою на рис. 2.2, рівняння спіралеподібної кривої представимо в наступному вигляді:

$$r_n = a \cdot \varphi + r_1, \quad (2.1)$$

$r_n$  – радіальна відстань від початку координат до «n» стрижня,  
де  $r_1$  - відстань від початку координат до першого циліндричного стрижня;

$\varphi_n$  – кут, виражений у радіанах, який відкладають від позитивного напрямку осі  $Ox$  до встановлення циліндричного «n» стрижня.

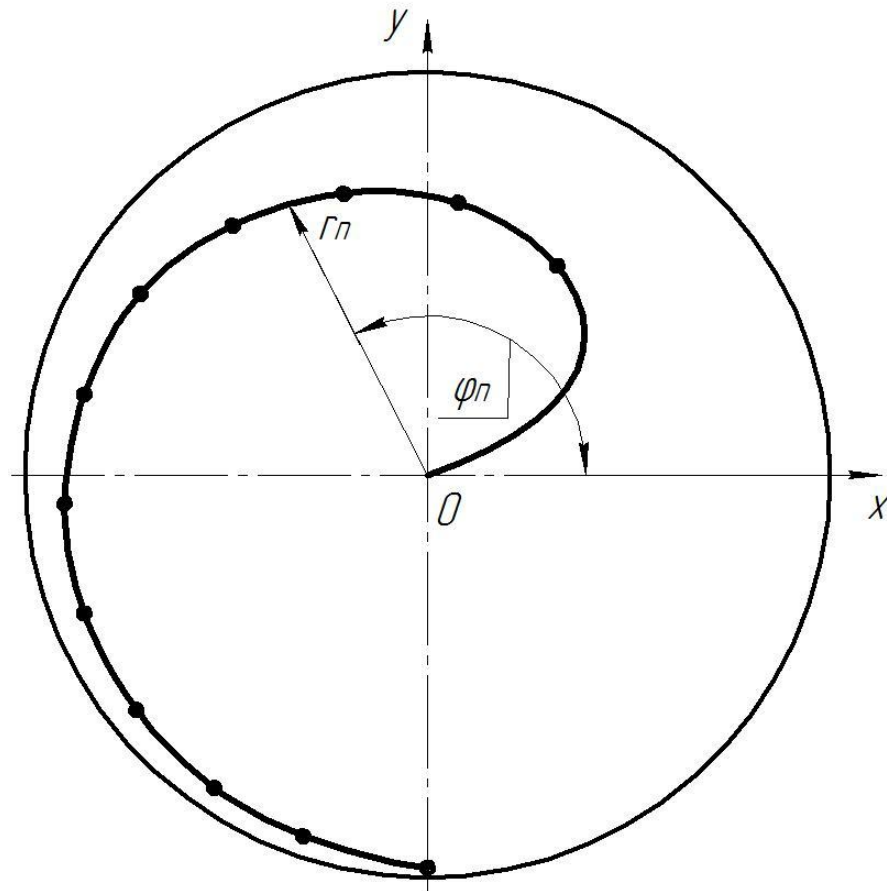


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема для визначення координат установки циліндричних стрижнів.

Для знаходження параметра «а» у формулі (2.1) потрібно скористатися граничною умовою:

$$\text{при } \varphi_n = \varphi_k; r = r_k, \quad (2.2)$$

тут  $\varphi_k$  – кут, виражений у радіанах, що утворює останній «к» циліндричний стрижень із радіальною відстанню « $r_k$ ».

З урахуванням (2.2) вираз (2.1) набуває вигляду:

$$r_k = a \cdot \varphi + r_1. \quad (2.3)$$

З (2.3) знаходимо значення параметра «а»:

$$a = \frac{r_k - r_1}{\varphi_k}. \quad (2.4)$$

Підстановка (2.4) в (2.1) призводить до наступного результату:

$$r_n = \frac{r_k - r_1}{\varphi_k} \cdot \varphi_n + r_1, n = 1, 2, \dots, k. \quad (2.5)$$

При рівномірному розташуванні змішувальних циліндричних стрижнів у площині рухомої шестерні для кутів « $\varphi_n$ » можна записати наступне співвідношення:

$$\varphi_n = n \cdot \frac{\varphi_k}{n_0}, \quad (2.6)$$

де  $n_0$  – загальна кількість встановлених циліндричних стрижнів.

З метою усунення ймовірності утворення застійної зони в центрі корпусу змішувача при перемішуванні сухих сумішей розташуємо в центрі площини рухомий шестірні (нульовий) циліндричний стрижень. Очевидно, він буде мати такі координати:

$$\varphi_0 = 0, \rho_0 = 0. \quad (2.7)$$

Таким чином, розташування стрижнів по спіралеподібній кривій (2.5) та розміщення в центрі площини шестерні додаткового стрижня (2.7) дозволяє уникнути при перемішуванні сухих сумішей утворення застійних зон за рахунок повного охоплення об'єму корпусу змішувача.

В результаті перекочування за зубчастим вінцем, закріпленим на внутрішньої поверхні циліндричного корпусу змішувача, циліндричні стрижні, ро-



зташовані в площині рухомої шестерні, будуть здійснювати рух по складних траєкторіях, які отримали назву гіпотрохоїд.

Параметричне рівняння траєкторії (гіпотрохоїди), по якій рухається «п» циліндричний стрижень визначатиметься такими співвідношеннями:

$$x_n = (R_0 - r_0) \cos \varphi + r_n \cos \left( \frac{R_0 - r_0}{r_0} \cdot \varphi \right); \quad (2.8)$$

$$y_n = (R_0 - r_0) \sin \varphi - r_n \sin \left( \frac{R_0 - r_0}{r_0} \cdot \varphi \right), \quad (2.9)$$

де  $r_0$  - радіус кола рухомої шестерні;

$R_0$  - внутрішній радіус нерухомої шестерні;

$\varphi$  - визначає зміну кута у площині перпендикулярної осі обертання від точки з координатами  $n$ ,  $r_n$  до точки  $n+2\pi$ ,  $r_n$ .

Обчислимо довжину шляху, який проходить «п» стрижень за один повний оберт рухомої шестерні:

$$L_n = \int_{\varphi_n}^{\varphi_n+2\pi} \sqrt{(dx_n)^2 + (dy_n)^2} . \quad (2.10)$$

Підстановка (2.7) у співвідношення (2.10) призводить до наступного результату:

$$L_n = (R_0 - r_0) \int_{\varphi_n}^{\varphi_n+2\pi} \sqrt{1 + \left( \frac{r_n}{r_0} \right)^2 - 2 \frac{r_n}{r_0} \cos \left( \frac{R_0}{r_0} \cdot \varphi \right)} \cdot d\varphi \quad (2.11)$$

Інтеграл у виразі (2.11) не можна обчислити на базі елементарних функцій. Його значення можна знайти приблизно чисельними методами.

Величина швидкості руху циліндричних стрижнів у корпусі розглянутого змішувача дорівнює:

$$U_n = \sqrt{U_{x,n}^2 + U_{y,n}^2}; \quad (2.12)$$

$$U_{x,n} = \frac{dx_n}{dt}; \quad (2.13)$$

$$U_{y,n} = \frac{dy_n}{dt}, \quad (2.14)$$

це проекції швидкості руху стрижнів на осі декартової системи координат.

З урахуванням (2.11), (2.13) набуває вигляду:

$$U_{x,n} = -(R_0 - r_0) \sin \varphi \cdot \frac{d\varphi}{dt} - \frac{r_n(R_0 - r_0)}{r_0} \sin \left( \frac{R_0 - r_0}{r_0} \varphi \right) \frac{d\varphi}{dt}. \quad (2.15)$$

Підстановка (2.12) (2.14) призводить до наступного результату:

$$U_{y,n} = (R_0 - r_0) \cos \varphi \cdot \frac{d\varphi}{dt} - \frac{r_n(R_0 - r_0)}{r_0} \cos \left( \varphi \frac{R_0 - r_0}{r_0} \right) \frac{d\varphi}{dt}. \quad (2.16)$$

Якщо врахувати, що зв'язок між кутом повороту рухомої шестерні, циклічною частотою  $\omega_0$  і часом  $t$  задається співвідношенням:

$$\varphi = \omega_0 \cdot \tau, \quad (2.17)$$

тоді формули (2.15) і (2.16) набувають вигляду:

$$U_{x,n} = -\omega_0 \left[ (R_0 - r_0) \sin \varphi + \frac{r_n (R_0 - r_0)}{r_0} \sin \left( \frac{R_0 - r_0}{r_0} \varphi \right) \right]; \quad (2.18)$$

$$U_{y,n} = \omega_0 \left[ (R_0 - r_0) \cos \varphi - \frac{r_n (R_0 - r_0)}{r_0} \cos \left( \frac{R_0 - r_0}{r_0} \varphi \right) \right]. \quad (2.19)$$

І як результат:

$$U_n = \omega_0 (R_0 - r_0) \sqrt{1 + \left( \frac{r_n}{r_0} \right)^2 - 2 \frac{r_n}{r_0} \cos \left( \frac{R_0}{r_0} \varphi \right)}. \quad (2.20)$$

Уявлення про характер зміни траєкторії руху робочих органів у залежно від радіусу їх встановлення щодо центру обертання та зміни їхньої швидкості дають графіки, представлені на рис. 2.3 2.7.

Наприклад, для наступних значень конструктивних та технологічних параметрів:

$$R_0 = 0,175 \text{ м}; r_0 = \frac{2}{3} R_0; \omega_0 = 5 \text{ с}^{-1}. \quad (2.21)$$

Графік параметричної траєкторії, якою здійснює рух циліндричний стрижень, розташований у площині рухомої шестерні на відстані,  $r_1=0,023$  м, що у формулах (2.8), (2.9) відповідає параметру  $n = 1$ , представлений на рис. 2.3.

На представленому графіку видно, що перший стрижнів, розміщений максимально близько до центру рухомої шестерні здійснює рухи по заданій траєкторії та охоплює область щодо центру системи координат на відстані рівній  $0,08$  м, ширина одного витка  $H_B$  має максимальний розмір.

Графік представлений малюнку 2.4 представлений як крива траєкторії, що описується другим робочим органом  $n=2$ , отриманий з урахуванням його розташування площині рухомої шестерні з відривом,  $r_2=0,0287$  м.

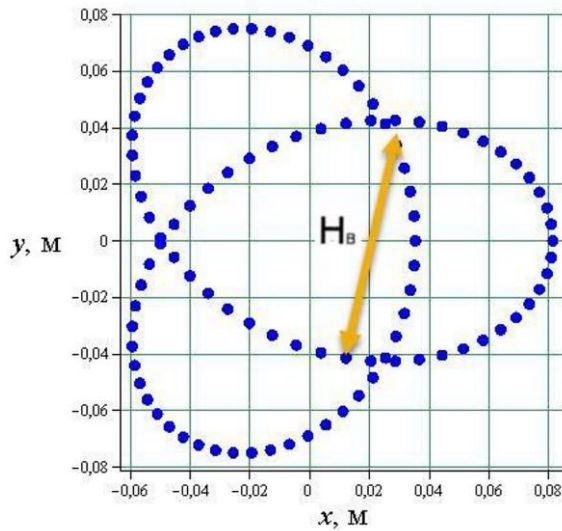


Рисунок 2.3 - Графік параметричної траєкторії циліндричного стрижня за  $n = 1$

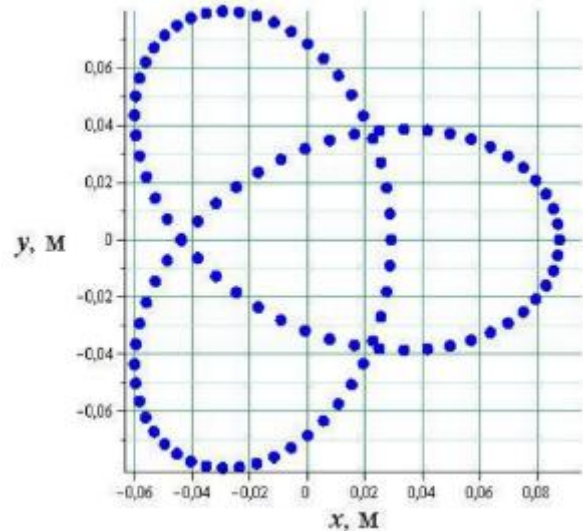


Рисунок 2.4 - Графік параметричної траєкторії циліндричного стрижня за  $n = 2$

На відміну від першого стрижня у другого траєкторія починає подовжуватися і йти на відстань більше 0,08 м, тим самим збільшуючи зону впливу робочих органів на частинки матеріалу. Так само спостерігається збільшення довжини кривої наступного третього стрижня  $n=3$ , розташованого з відривом  $r_3=0,0345$  м.

На графіці зображеному рис. 2.5 бачимо вже більш явне зміна ширини описується стрижнем фігури та збільшення довжини траєкторії. Максимальне видалення щодо центру осі координат дорівнює 0,09 м. Рух, що описується четвертим робочим органом, розташованим на відстані,  $r_4=0,0402$  м, так само виконується по гіпотрохіді, що видно на рис.2.6, проте форма фігури, що описується на площині вже набагато сильніше відрізняється від форми у першому випадку. Ширина одного витка зменшилась на 0,01 м, а довжина збіль-

шилася на 0,02 м, тобто ми спостерігаємо поступове, а головне рівномірне збільшення зони на частинки матеріалу.

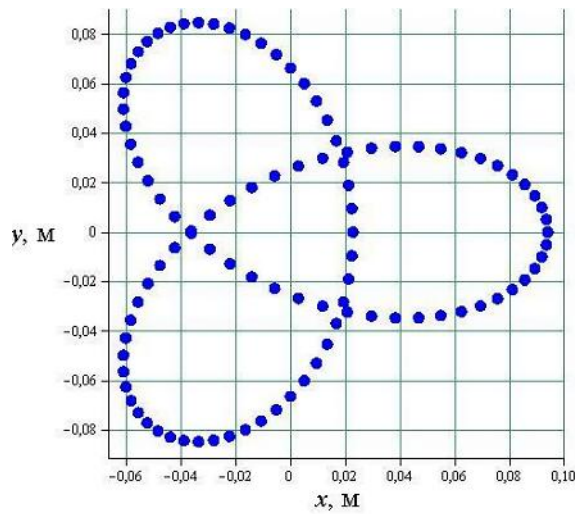


Рисунок 2.5 - Графік параметричної траєкторії циліндричного стрижня за

$$n = 3$$

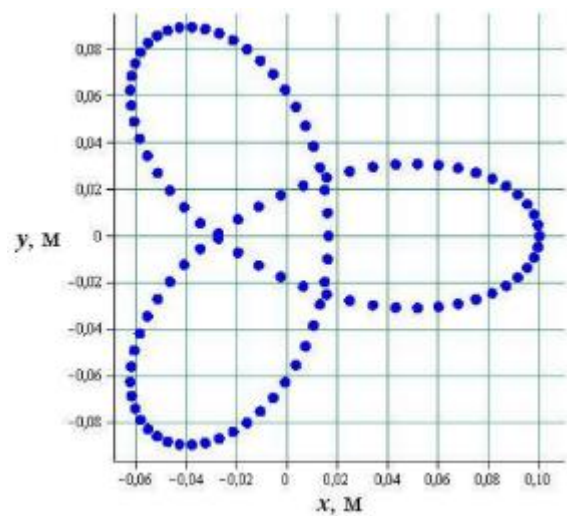


Рисунок 2.6 - Графік параметричної траєкторії циліндричного стрижня за

$$n = 4$$

Характер переміщення п'ятого стрижня (рис. 2.6), розташованого на відстані  $r_5=0,048$  м показує зменшення відстані між траєкторіями в центр системи координат і зменшення ширини кожної петлі, а максимальне видалення стрижня збільшилося на відстань понад 0,10 м-коду.

Шостий стрижень розташований з відривом,  $r_6 = 0,0517$  м, показує вже абсолютно несхожий на попередні графіки результат, стрижень починає переходити на дедалі більш віддалені ділянки корпусу, у своїй спостерігається більше точковий вплив у центрі траєкторії руху та зменшення ширини витка до 0,05 м. Його траєкторія показана рис. 2.8.

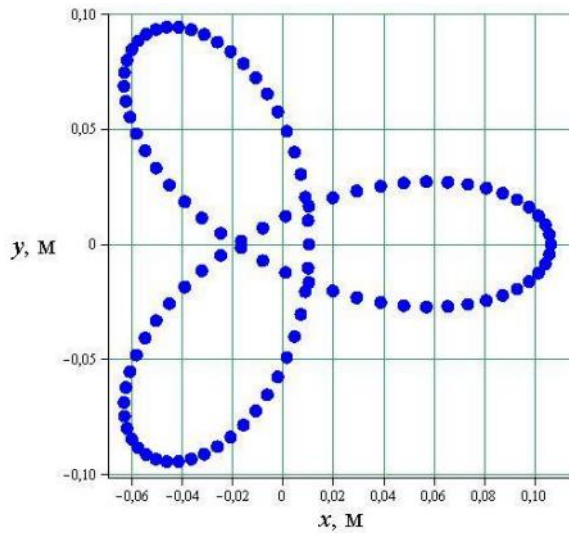


Рисунок 2.7 - Графік параметричної траєкторії циліндричного стрижня за  $n = 5$

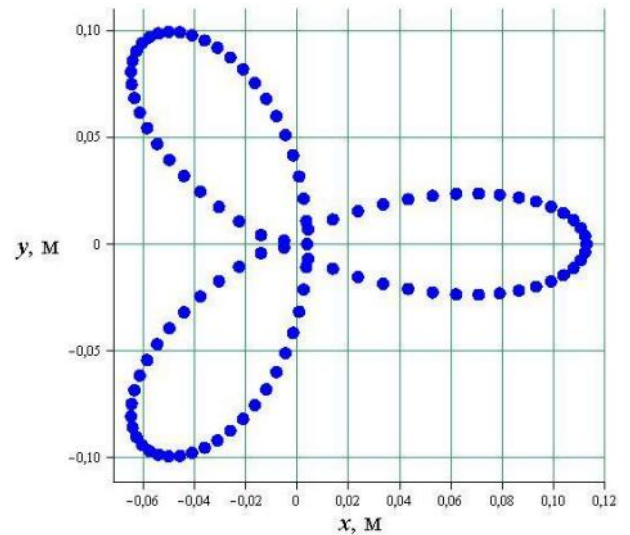


Рисунок 2.8 - Графік параметричної траєкторії циліндричного стрижня за  $n = 6$

Стрижень під номером 7 встановлений з відривом,  $r_7=0,0575$  м, від центру шестерні, так само, як і в попередньому випадку продовжує подовжуватися на відстань 0,12 м, а центральна частина траєкторії (зображена рис. 2.9) починає знову розширюватися, але вже вигин кривої відбувається у зворотний бік.

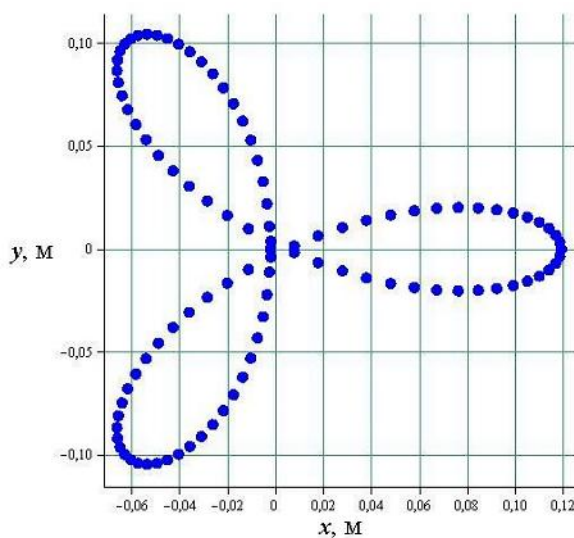


Рисунок 2.9 - Графік параметричної траєкторії циліндричного стрижня за  $n = 5$

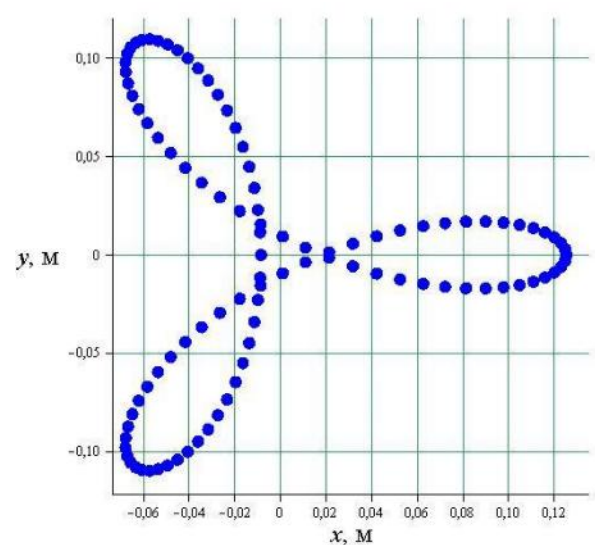


Рисунок 2.10 - Графік параметричної траєкторії циліндричного стрижня за  $n = 6$

$$n = 7$$

$$n = 8$$

Графік параметричної траєкторії (рис. 2.10), восьмого стрижня, встановленого з відривом  $r_8=0,0632$  м, демонструє збільшення площі центральної частини фігури описуваної цим стрижнем і збільшення загального розмаху кожного з витків до 0,11 м.

Характер руху наступного, дев'ятого стрижня (зображений рис. 2.11) який встановлений на відстані,  $r_9=0,0690$  м, показує, що максимальна відстань змінилася до 0,12 м, а ширина витка  $H_b$  зменшилась до 0,025 м, що дозволяє цьому робочому органу впливати вже на більш віддалені ділянки корпусу та забезпечувати безперервне та рівномірне перемішування у всьому обсязі корпусу.

Десятий стрижень розміщений вже практично на максимальному на відстані,  $r_{10} = 0,0747$  м, що у формулах (2.8), (2.9) відповідає параметру  $n=10$  представлений на рис. 2.12.

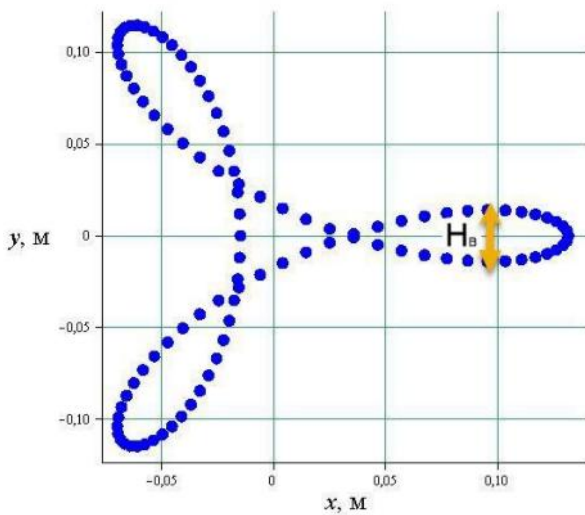


Рисунок 2.11 - Графік параметричної траєкторії циліндричного стрижня за

$$n = 9$$

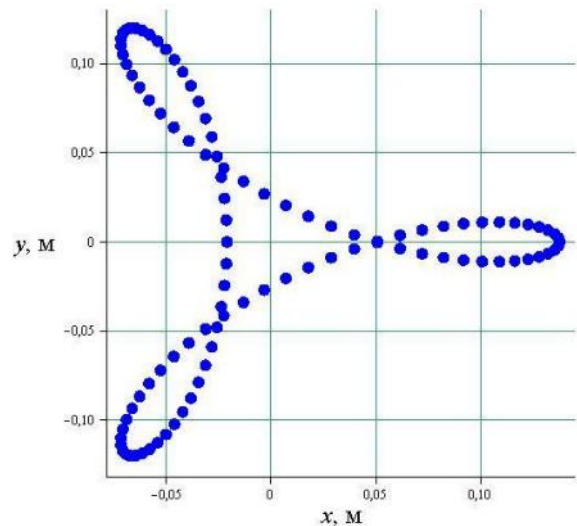


Рисунок 2.12 - Графік параметричної траєкторії циліндричного стрижня за

$$n=10$$

Крива змінила свою максимальну довжину до 0,13 м, а ширина фігури стрижнем, що описується, зменшилася до значення рівного 0,02 м. Передостанній крайній стрижень віддалений від центру шестерні на величину рівну  $r_{10} = 0,0805$  м, описує криву з довжиною вже трохи більше 0,14 метра, при значно зменшеній ширині всіх петель щодо встановлення стрижнів у першому випадку. Так само поряд із звуженням та подовженням загальної площі фігури описується стрижнем, спостерігається збільшення відстані між кривими ближче до центру системи координат.

Це дуже важливо тому що ми спостерігаємо більш точковий вплив ближче до края стінки корпусу, де найчастіше утворюються застійні зони, що знижують загальну якість змішування. Можна зробити висновок, що ми не тільки забезпечуємо охоплення всього об'єму суміші в корпусі змішувача, але і збільшуємо інтенсивність впливу у найвіддаленіших ділянках корпусу, що безсумнівно є позитивний результат. Останній стрижень розташований на відстані  $r_{11} = 0,0805$  м, що у формулах (2.8), (2.9) відповідає параметру  $n=11$ , представлений на рис. 2.13.

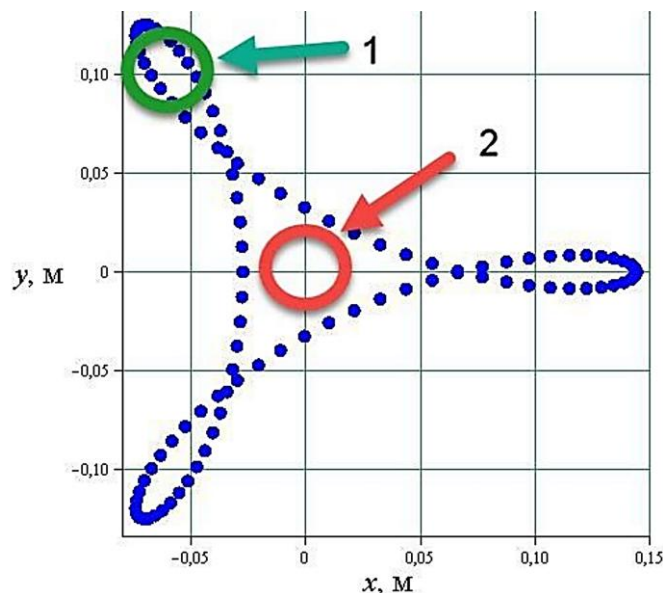


Рисунок 2.13 - Графік параметричної траєкторії циліндричного стрижня за  $n = 11$ : 1-зона впливу біля периферії, 2-зона впливу в центрі



В даному у разі вплив робочого органу зосереджено на периферії (позиція 1 на рис. 2.13) корпусу та максимальний розмах зони впливу збільшується до 0,15 м при максимальному звуженні петлі кривої траєкторії до 0,015 м. При цьому в центральній частині спостерігається збільшення відстані між кривими та зниження більш точкового впливу, однак у нашому випадку дана площа буде покрита траєкторією стрижня, розміщеного на меншому відстані від центру шестірні.

При накладенні всіх отриманих кривих можна отримати спільну пляму впливу робочих органів рис. 2.14 та рис. 2.15.

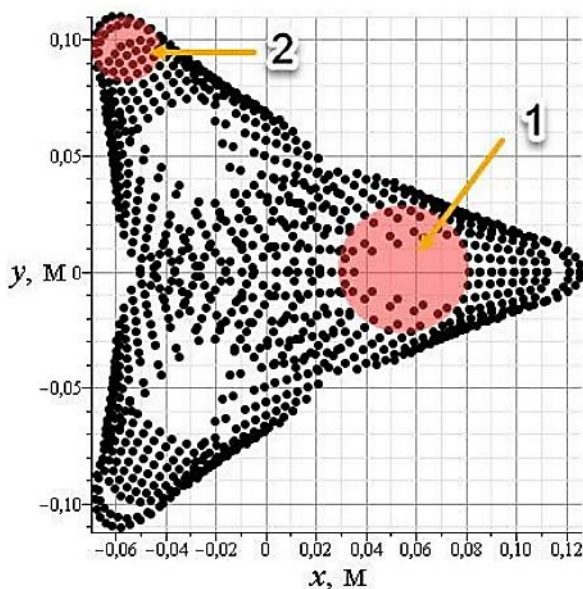


Рисунок 2.14 - Сумарна пляма кривих, що впливають на суміш при радіусі спіралі 0,07 м: 1-застійна зона, 2-зона дії біля краю ємності

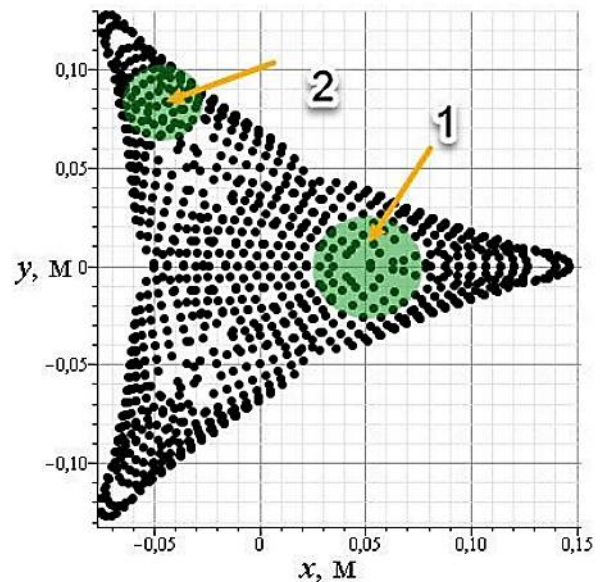


Рисунок 2.15 - Сумарна пляма кривих, що впливають на суміш при радіусі спіралі 0,09 м: 1-зона впливу між краєм та центром, 2-зона впливу біля краю ємності

У першому випадку при зменшенні значення радіусу спіралі, за якою встановлені стрижні ми спостерігаємо утворення застійних зон, показаних на рис. 2.14 позицією 1. Це пов'язано з тим, що при таких геометричних параме-

трах перекриття обсягу ємності робочими органами зосереджено біля краю (позиція 2 рис. 2.14).

У другому випадку як показано на малюнку 2.15 при збільшенні радіусу спіралі робочі органи починають ефективніше впливати по всьому обсягу ємності, як між середньою та крайньою частиною, так і біля самого краю. Це відбувається за рахунок більш оптимальної траєкторії установки робочих органів у тому ж обсязі змішувача.

Таким чином, отримані рівняння (2.8), (2.9) та (2.20) кінематики рухи дозволяють розрахувати оптимально ефективні траєкторії руху не лише одного стрижня, а й усіх стрижнів та їх швидкості. Що загалом дозволяє оцінити ефективність процесу перемішування матеріалу по всьому обсягом змішувача та спроектувати будь-якого типорозміру. Змінюючи крок встановлення стрижнів ми тим самим задаємо будь-яку інтенсивність (турбулентність) процесу перемішування.

## **2.2 Визначення потужності на реалізацію процесу**

Для знаходження величини опору середовища (суха суміш) рухомим стрижнем циліндричної форми, що має діаметр  $d_0$ , будемо розглядати рухоме середовище як сильно в'язку псевдо рідину, з щільністю  $\gamma$ , що набігає на нерухомий стрижень.

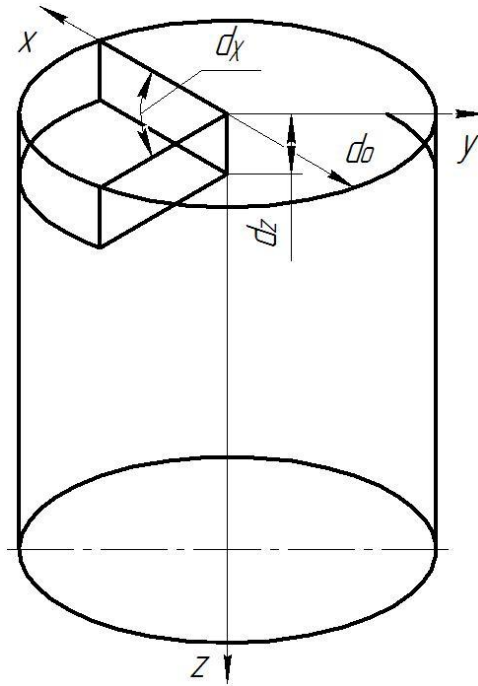


Рисунок 2.16 - Розрахункова схема для визначення величини сили опору середовища на зовнішню поверхню стрижня

Згідно з розрахунковою схемою, представленою на рис. 2.16, введемо циліндричну систему координат  $(r, \chi, z)$ .

Для знаходження величини сили опору на поверхню виділеного «n»-го стрижня середовищем, що рухається, виділимо на зовнішній поверхні стрижня - елементарний майданчик  $dS$ . Згідно з розрахунковою схемою на рис. 2.16 маємо:

$$dS = \frac{d_0}{2} d\chi dz, \quad (2.22)$$

де  $\chi$  – полярний кут, що відраховується від позитивного спрямування осі "OX".

На елементарну площу (2.22) діятиме елементарна сила:

$$dF_n = PdS, \quad (2.23)$$

тут  $P$  – тиск середовища на відстань  $z$  від рівня заповнення корпусу змішувача та рівне:

$$P = P_{d,n} + P_c; \quad (2.24)$$

$$P_{d,n} = \frac{\gamma U_n^2}{2}; \quad (2.25)$$

$$P_c = \gamma g z, \quad (2.26)$$

тут  $g$  – прискорення вільного падіння;

$\gamma$  – щільність матеріалу.

Співвідношення (2.25) є динамічною складовою тиску середовища, що рухається, а (2.26) являє собою статичну складову тиску.

З підстановки виразу (2.24) який враховує (2.25) і (2.26) в (2.23) слідує:

$$dF_n = \gamma \left( \frac{U_n^2}{2} + g z \right) dS. \quad (2.27)$$

При інтегруванні виразу (2.27) отримуємо співвідношення:

$$F_n = \iint_S \gamma \left( \frac{U_n^2}{2} + g z \right) \frac{d_0}{2} d\chi dz. \quad (2.26)$$

Обчислення інтегралу (2.26) призводить до наступного результату:

$$F_n = \frac{d_0}{2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} d\chi \int_0^H \gamma \left( \frac{U_n^2}{2} + g z \right) dz = \left( \frac{\pi \gamma}{2} U_n^2 H + \frac{\pi \gamma g}{2} H^2 \right) \frac{d_0}{2}, \quad (2.25)$$

де  $H$  – висота завантаження матеріалом циліндричного корпусу змішувача.

Роботу, яку необхідно витратити на подолання сили опору (2.25) циліндричними стрижнями при їх русі в сипучому середовищі за один повний оборот, що здійснюється рухомою шестернею по внутрішній поверхні циліндричного корпусу змішувача можна визначити, як

$$A_n = \frac{\pi \gamma H_0 \psi d_0}{4} \cdot \left[ \omega_0^2 (R_0 - r_0)^3 \cdot D_n(r_n, \varphi_n) + g H_0 \psi (R_0 - r_0) S_n(r_n, \varphi_n) \right], \quad (2.26)$$

Потужність  $N_c$ , яку необхідно витратити на виконання роботи (2.26), можна знайти на підставі наступної рівності:

$$N_c = \omega_0 \sum_{n=0}^{n_0} A_n. \quad (2.27)$$

Підстановка (2.26) у (2.27) призводить до результату:

$$N_c = \frac{\pi \gamma H_0 \psi d_0 \omega_0}{4} \left[ \omega_0^2 (R_0 - r_0)^3 \sum_{n=0}^{n_0} D_n(r_n, \varphi_n) + g H_0 \psi (R_0 - r_0) \sum_{n=0}^{n_0} S_n(r_n, \varphi_n) \right]. \quad (2.28)$$

На рис. 2.17 представлена графічна залежність потужності, яка визначається формулою (2.28), залежно від коефіцієнта завантаження корпусу змішувача.

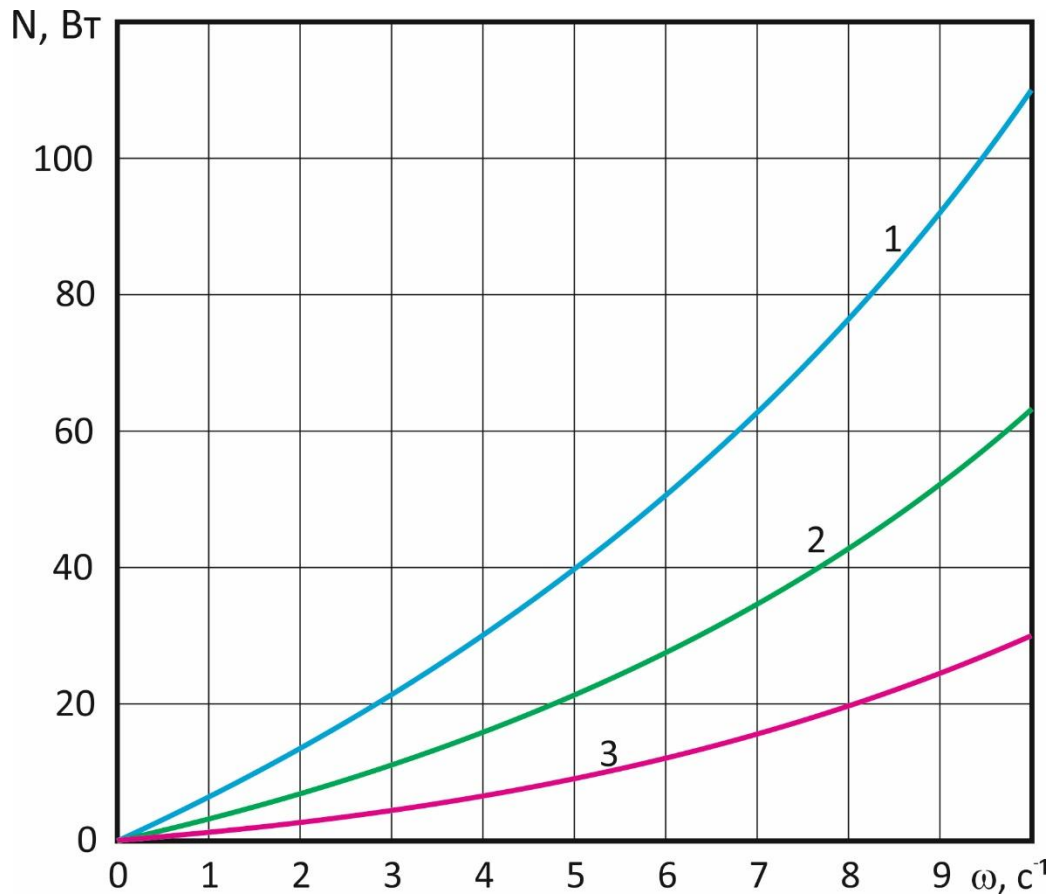


Рисунок 2.17 - Графічна залежність потужності від зміни частоти обертання рухомий шестерні: 1 - значення споживаної потужності при коефіцієнті завантаження  $\psi = 70\%$ ; 2 - значення споживаної потужності при коефіцієнті завантаження  $\psi = 50\%$ ; 3 - значення споживаної потужності при коефіцієнті завантаження  $\psi = 30\%$ .

Аналізуючи результати, отримані рис. 2.17 видно, що з збільшенням коефіцієнта завантаження  $\psi$  ємності змішувача матеріалом, споживана потужність зростає за однієї й тієї частоті обертання.

Наприклад, при частоті обертання  $\omega = 4 \text{ с}^{-1}$  та коефіцієнті завантаження  $\psi = 30\%$  споживана потужність  $N = 6,2 \text{ Вт}$ , а за коефіцієнта завантаження  $\psi = 70\%$  вона зростає до  $N = 30,5 \text{ Вт}$ , тобто майже п'ять разів. Пояснити це можна тим, що за збільшення об'єму завантажуваного матеріалу зростає опір середовища, що переміщується.

Так само при збільшенні частоти до значення  $\omega = 8 \text{ с}^{-1}$  і тих же значеннях коефіцієнта завантаження  $\psi = 30\%$  і  $\psi = 70\%$ , споживана потужність зростає в

першому випадку (позиція 3 рис. 2.17) до значення  $N=18,8$  Вт, тобто у три рази більше, ніж при частоті  $\omega=4$  с<sup>-1</sup>. У другому випадку (позиція 1 на рис. 2.17) значення споживаної потужності  $N=761$  Вт, що у 2,5 рази більше, ніж за частоті  $\omega=4$  с<sup>-1</sup>. Це пояснюється тим, що при переміщенні стрижнів в тому самому об'ємі завантаження матеріалу, опір переміщенню при великих швидкостях суттєво (3 та 2,5 рази) зростає. Що очевидно і підтверджує адекватність отриманих нами рівнянь.

### **2.3 Висновки**

У аналізованому планетарному змішувачі за заданими координатами змішувальних стрижнів визначено швидкості їх руху та отримано рівняння, описують траєкторії руху місильних стрижнів і наведено їх графічна інтерпретація.

Розроблено методику, що дозволяє виконати розрахунок потужності, необхідної для подолання опору сухої суміші внаслідок руху циліндричних стрижнів, а також потужності витрачається на рух робочих органів без завантаження.

## **3 Лабораторні дослідження змішувача сипких кормів**

### **3.1 Програма, методи лабораторних досліджень**

Для того щоб визначити раціональні параметри режими роботи планетарного змішувача необхідно провести лабораторні експерименти, що відображають вплив основних конструктивних та технологічних параметрів на енергоємність та загальну якість готового продукту.

У ході виконання експериментальних досліджень була поставлена мета - визначити характер впливу параметрів запропонованої конструкції планетарного змішувача та режимів роботи машини на процес змішування дисперсного середовища. Завданнями експериментального дослідження є: визначення раціональних конструктивних параметрів та режиму роботи планетарного змішувача, необхідні отримання найефективнішого процесу змішування компонентів.

Для подальшого виконання поставлених завдань експериментальних досліджень з дослідження змішування сипких компонентів у планетарному змішувачі були запропоновані наступні етапи проведення робіт:

- розробка та виготовлення експериментальної установки планетарного змішувача з робочими органами, виконаними у вигляді стрижнів;
- визначення технологічних та конструктивних параметрів експериментальної установки планетарного змішувача, які будуть схильні до зміни та контролю під час проведення досліджень;
- визначення показників, що характеризують ефективність процесу перемішування у лабораторній установці;
- проведення експериментальних досліджень, спостереження за процесом;

Для проведення експериментів було розроблено експериментальну установку планетарного змішувача (рис. 3.1). Конструкція цієї установки дозволяє змінювати досліджувані параметри та режими роботи змішувача в межах, достатніх на вирішення поставлених завдань.





Рисунок 3.1 - Загальний вигляд лабораторної установки: 1-блок живлення, 2-бункер, 3-2-вінцева шестерня, 4-диск зі стержнями, 5 -електродвигун

Досліджуваними факторами експерименту з приготування сухої суміші планетарному змішувачі були обрані:

- частота обертання,  $\text{хв}^{-1}$  ( $x_1$ );
- тривалість циклу перемішування, с ( $x_2$ );

- коефіцієнт завантаження ємності, % ( $x_3$ );

Як функції відгуку, що визначають характер процесу змішування, були обрані:

- питомі енерговитрати, кВт·год/т ( $q$ );

- коефіцієнт неоднорідності суміші, % ( $V_c$ );

Рівні варіювання факторів, підібрані на основі результатів, отриманих у ході виконання пошукових експериментів, наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Досліджувані фактори та рівні варіювання

Фактори	Позначення	Одиниця вимірювання	Рівні варіювання					Інтервал
			-2	-1	0	+1	+2	
Частота обертання	$x_1$	$\text{хв}^{-1}$	60	120	180	240	300	60
Час змішування	$x_2$	с	30	40	50	60	70	10
Коефіцієнт завантаження	$x_3$	%	30	40	50	60	70	10

### 3.2 Результати лабораторних досліджень

Аналіз питомої витрати електроенергії було проведено на підставі статистичної обробки результатів, отриманих у ході експериментальні дослідження. Було отримано рівняння регресії у кодованому вигляді:

$$q = 0,346 + 0,048 \cdot x_1 + 0,043 \cdot x_2 - 0,038 \cdot x_3 + 0,013 \cdot x_1^2 + 0,009 \cdot x_2^2 + 0,006 \cdot x_3^2 + 0,001 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,003 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,002 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3.1)$$

Розглядаючи це рівняння, можна дійти висновку, у тому, що найбільший вплив зміну питомої витрати електроенергії надає параметри частоти обертання та часу. Збільшення значення цього фактора веде до збільшення питомої витрати електроенергії, оскільки коефіцієнт впливу на рівнянні регресії має позитивний знак.

Вплив одиничних факторів показує, що зі збільшенням цих значень відбувається зростання питомих витрат електроенергії, оскільки коефіцієнти рівняння позитивні, крім значень фактору коефіцієнта завантаження, що має негативний знак. Зміна витрати електроенергії пояснюється тим, що із збільшенням часу змішування зростає споживана потужність електродвигуном змішувача. При збільшенні частоти обертання центрального валу змішувача збільшується споживана приводом потужність, що забезпечує обертання робочих органів змішувача.

У натуральному вигляді отримаємо рівняння:

$$q = 0,00006 \cdot \psi^2 - 0,000005 \cdot \psi \cdot n + 0,00002 \cdot \psi \cdot t - 0,01 \cdot \psi + 0,000001 \cdot n \cdot t - 0,00044 \cdot n + 0,000003 \cdot n^2 + 0,00009 \cdot t^2 - 0,0087 \cdot t + 1,3358 \quad (3.2)$$

На рис. 3.2 видно, що залежність  $q=f(n)$  має зростаючий характер, тобто зі збільшенням частоти обертання валу зростає питома витрата електроенергії. При цьому графіки мають однаковий характер зміни при різних значеннях параметра часу:  $t=40$  с,  $t=50$  с та  $t=60$  с. Це пояснюється тим що, збільшуючи частоту обертання валу змішувача, збільшується і споживана електродвигуном потужність за рахунок подолання динамічних навантажень та сил інерції. Наприклад, найбільше значення питомих енерговитрат  $q=0,548$  кВт·год/т отримано при максимальному значенні параметра частоти обертання двигуна  $n=300$  об/хв та часу  $t=60$  с.

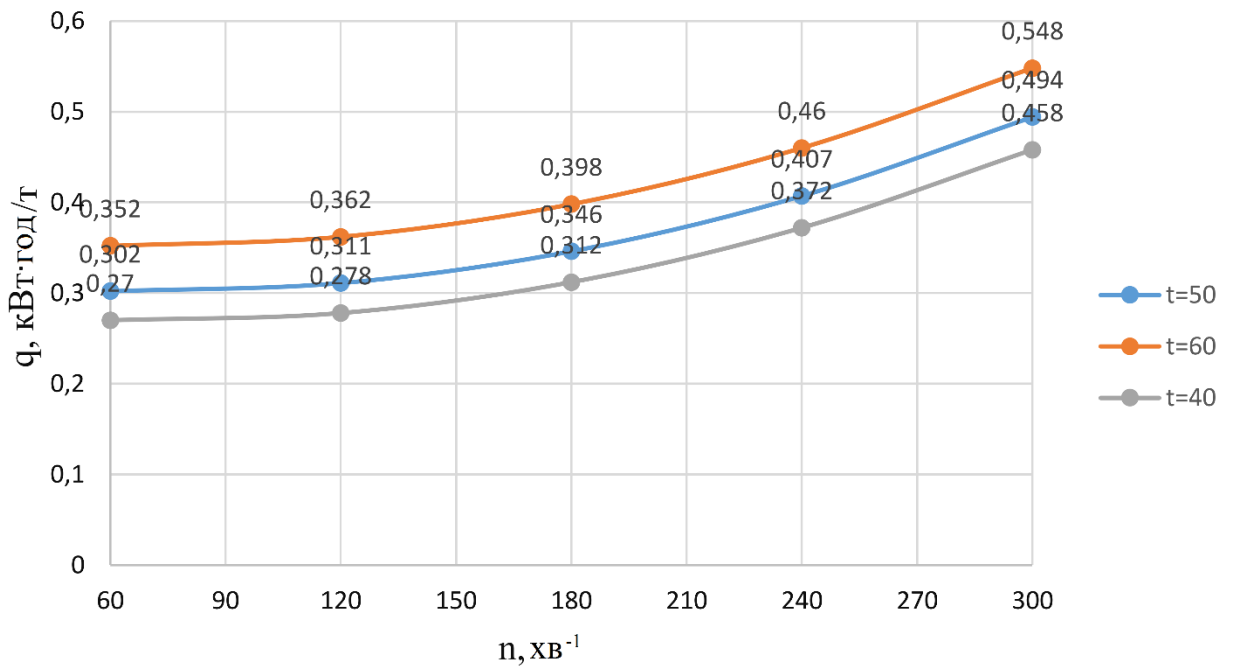


Рисунок 3.2 - Графіки залежності  $q=f(n)$  при  $\psi=50\%$ .

Найменше значення  $q=0,270$  кВт·год/т буде при мінімальному значенні частоти обертання двигуна  $n=60$  об/хв часу  $t=40$  с, оскільки двигун у такому режимі витратить меншу кількість енергії.

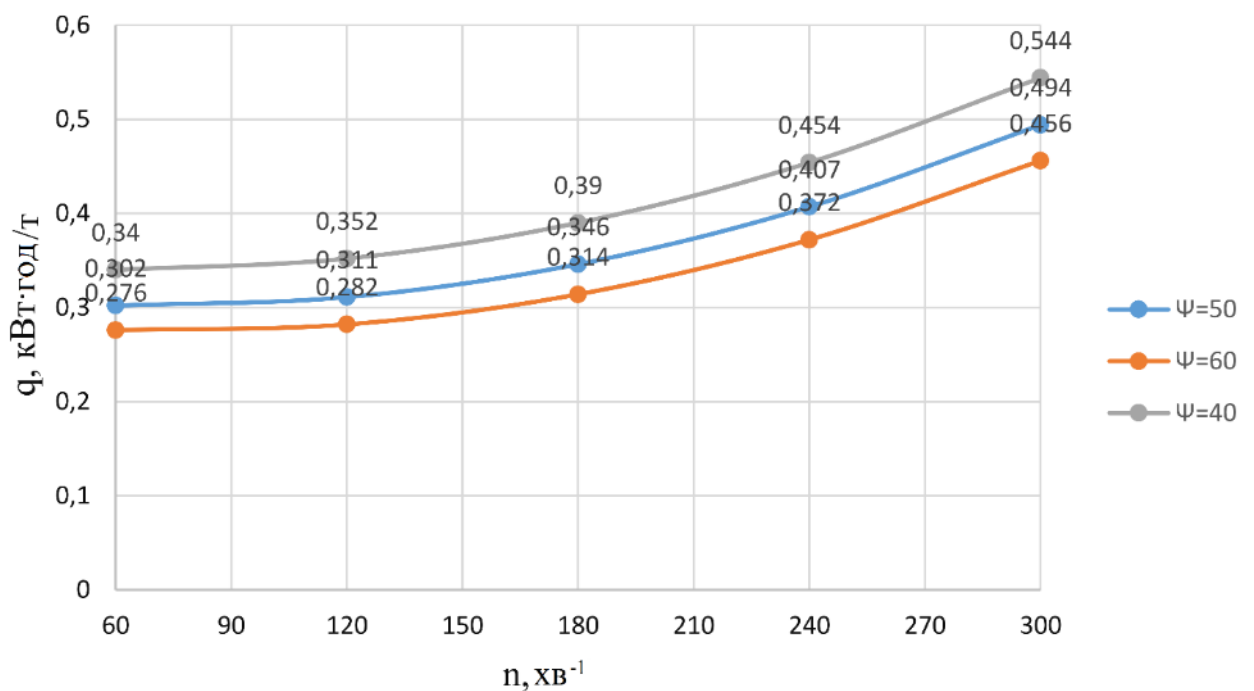


Рисунок 3.3 - Графіки залежності  $q=f(n)$  при  $t=50$  с

Аналізуючи наступний графік 3.3 можна сказати, що залежність  $q=f(n)$  має монотонно зростаючий характер при відповідних значеннях. Зі збільшенням частоти обертання валу зростає питома витрата електроенергії, і найбільше значення питомих енерговитрат  $q=0,544$  кВт·год/т досягається при значенні частоти 300 об/хв і коефіцієнт завантаження  $\psi=40\%$ . Таким чином ми бачимо на графіку, що при мінімальному коефіцієнті завантаження змішувач працює не ефективно, а при максимальному завантаженні дорівнює 60% питомі енерговитрати знижуються і підвищується ефективність змішування.

Це пояснюється тим, що при збільшенні завантаження матеріалу продуктивність змішувача зростає інтенсивніше ніж споживана потужність.

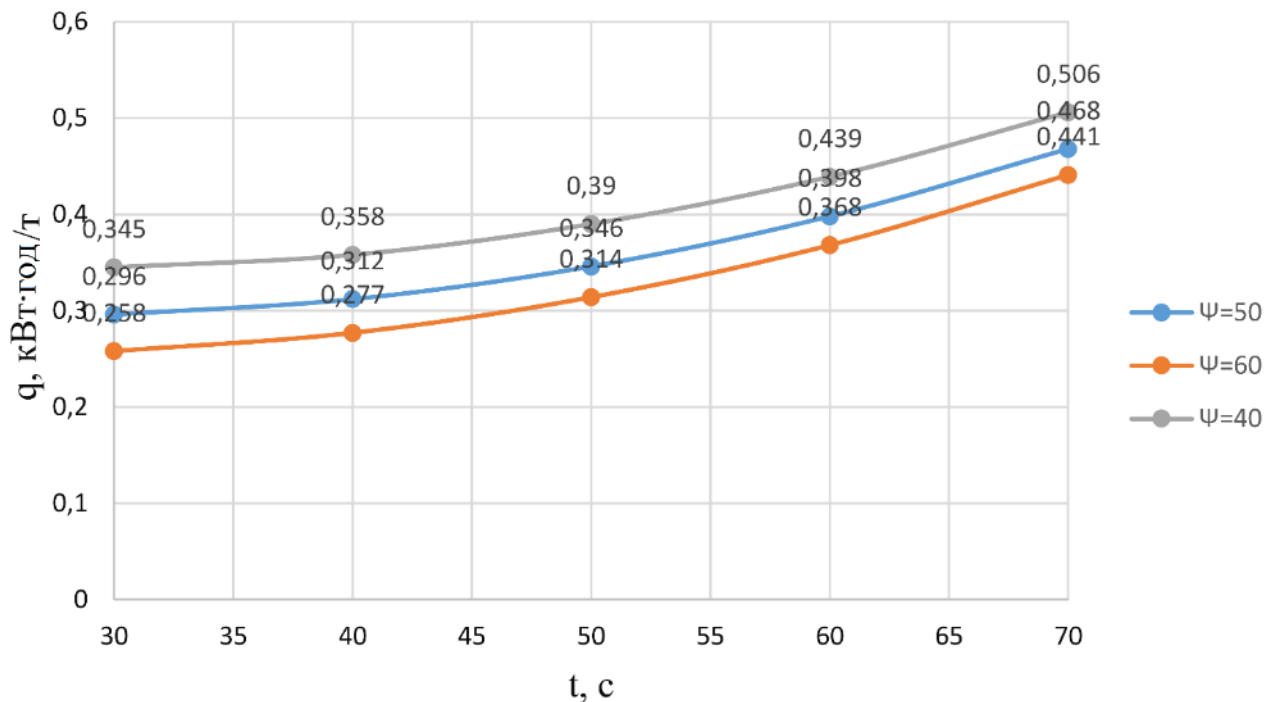


Рисунок 3.4 - Графіки залежності  $q=f(t)$  при  $n=180$  об/хв

Проаналізувавши графік 3.4 залежності питомої витрати електроенергії від часу, можна дійти невтішного висновку, що він носить зростаючий характер. На графіку видно, що з заданих частотах  $n=180$  об/хв характер кривих практично однаковий. З часом змішувач витратить більше кількість енергії, що витрачається на обертання центрального валу, нагрівання і вплив навантажень з боку

матеріалу. Відповідно, чим довше працює установка, тим більше витрачено електроенергії на процес змішування.

Найбільше значення питомих енерговитрат  $q=0,506$  кВт·год/т досягається при значенні параметра часу  $t=70$  с та коефіцієнта завантаження рівного  $\psi = 40\%$ . Найменше значення питомих енерговитрат  $q=0,258$  кВт·год/т досягається при значенні часу  $t=30$  с, при коефіцієнті завантаження рівному  $\psi=60\%$ , оскільки змішувач працює лише малий проміжок часу та відповідно менше споживає електроенергії. Таким чином, можна зробити висновок, що збільшення коефіцієнта завантаження призводить до поступового зниження питомих енерговитрат. Можна зробити загальний висновок що досліджувані фактори ( $n$ ,  $\psi$ ,  $t$ ) мають великий вплив на показники питомих енерговитрат і відображають логічну та реальну закономірність процесу змішування тонкодисперсних компонентів.

Що стосується залежності коефіцієнта неоднорідності суміші від основних параметрів, то ґрунтуючись на статистичній обробці результатів експериментальних досліджень, отримано рівняння регресії у кодованому вигляді:

$$V_c = 5,67 - 0,69 \cdot x_1 - 1,22 \cdot x_2 - 0,79 \cdot x_3 + 1,09 \cdot x_1^2 + 0,24 \cdot x_2^2 + 0,28 \cdot x_3^2 + 0,16 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,005 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,063 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3.3)$$

Перекладемо рівняння у натуральний вигляд:

$$V_c = 0,0028 \cdot \psi^2 - 0,000008 \cdot \psi \cdot n + 0,00063 \cdot \psi \cdot t - 0,3733 \cdot \psi - 0,003 \cdot n^2 + 0,0002 \cdot n \cdot t - 0,1372 \cdot n + 0,0024 \cdot t^2 - 0,8045 \cdot t + 50,184 \quad (3.4)$$

З цього рівняння випливає, що на показник неоднорідності  $V_c$  має вплив час змішування  $t$ . Частота обертання та коефіцієнт завантаження впливають на зміну концентрації компонентів сухий суміші та відповідно на коефіцієнт не-

однорідності. Те, що ці фактори дії мають негативний коефіцієнт, говорить про зменшення коефіцієнта неоднорідності суміші при їх збільшенні.

З рис. 3.5 випливає, що залежність  $V_c=f(n)$  має екстремальний характер.

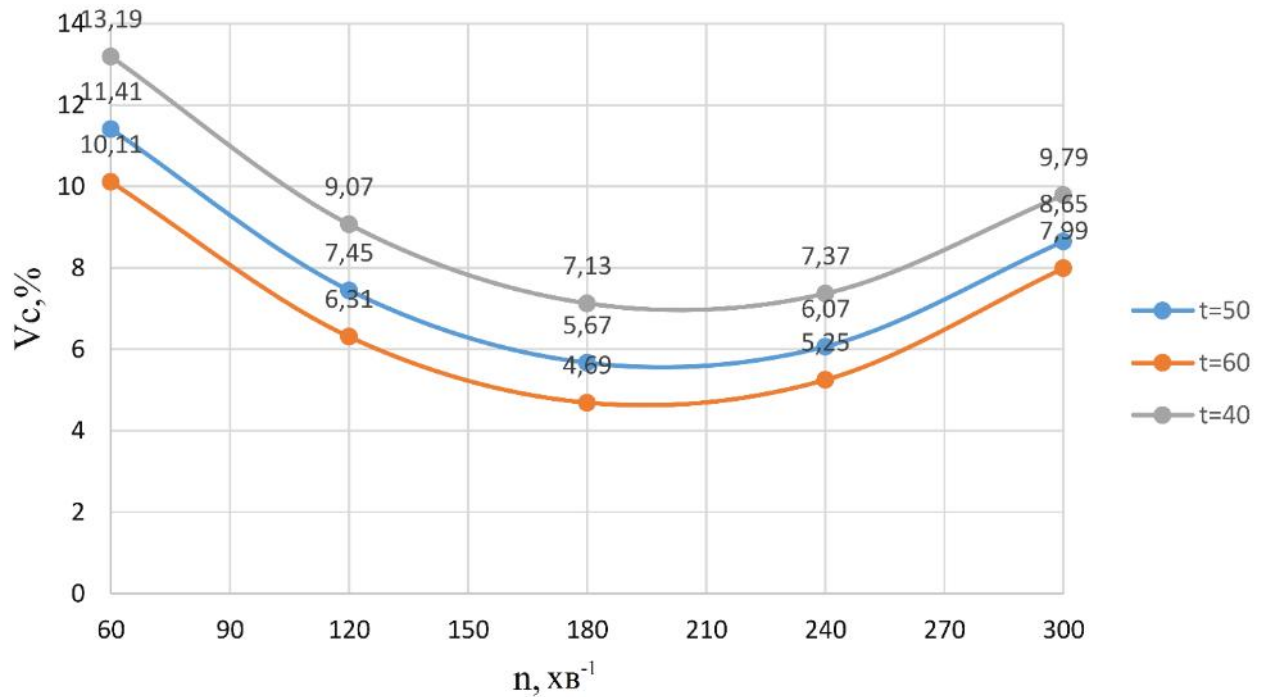


Рисунок 3.5 - Графіки залежності  $V_c=f(n)$  при  $\psi=50\%$

При значеннях частоти обертання від 60 до 180 об/хв відбувається зменшення коефіцієнта неоднорідності, а при подальшому збільшенні частоти обертання зі 180 до 300 об/хв відбувається його збільшення. Такий характер залежності  $V_c = f(n)$  пояснюється тим, що при невеликих частотах обертання рухомої частини змішувача матеріал повільно переміщається в осьовому напрямку, а головне переміщення відбувається в радіальному напрямку між стрижнями.

Зі збільшенням частоти обертання збільшується і швидкість осьового та радіального переміщення, в якому переміщуються компоненти суміші, тим найбільш збільшуючи інтенсивність переміщення матеріалу в ємності змішувача. При заданні частоти обертання  $n=300$  об/хв інтенсивність перемішування



зростатиме, проте цей факт призводить до збільшення коефіцієнта неоднорідності внаслідок прояву ефекту сегрегації частинок. З показників на графіці видно, що за мінімального часу  $t=40$  с і високій частоті  $n=300$  об/хв показник коефіцієнта неоднорідності дорівнює  $V_c=9,79\%$ , але за тієї ж частоті зі збільшенням часу змішування до 60 с, то якість суміші підвищується до  $V_c=7,99\%$  через зниження ефекту сегрегації суміші. Аналогічний факт спостерігається і зі збільшенням кількості оборотів при постійному значенні коефіцієнта завантаження  $\psi=50\%$ .

Таким чином, при одночасному збільшенні частоти обертання з  $n=180$  об/хв. до 300 об/хв і часу змішування  $t=40$  до  $t=60$  с, показник неоднорідності збільшується меншою мірою, ніж при більш низькій частоті обертання.

На рис. 3.6 приведено залежності  $V_c=f(n)$  при середніх параметрах  $t=50$  с.

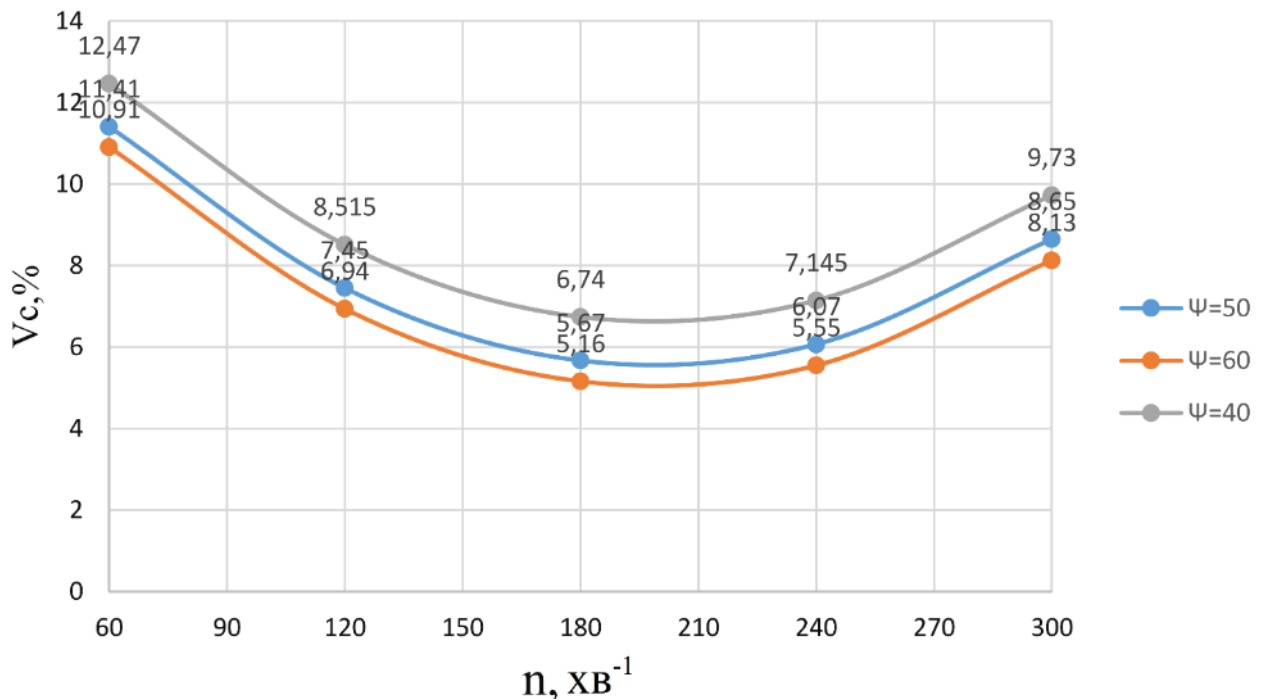


Рисунок 3.6. Графіки залежності  $V_c=f(n)$  за  $t=50$

При цьому варто зазначити, що максимальне значення коефіцієнта неоднорідності досягається при значенні параметра частоти обертання 60 об/хв



та мінімального завантаження корпусу  $\psi=40\%$ . Зі збільшенням частоти обертання, спостерігається зменшення коефіцієнта однорідності одержуваної суміші. Це пояснюється тим, що за один і той же час робочі органи зможуть взаємодіяти з набагато більшим об'ємом матеріалу, доводячи стан суміші до якіснішого. Через це відбувається збільшення ступеня конвективного змішування матеріалу, що призводить до зниження коефіцієнта неоднорідності.

Максимальні значення  $V_c=12,47\%$  за мінімального значення частоти обертання 60 об/хв можна пояснити низьким коефіцієнтом завантаження корпусу. При постійному параметрі часу  $t=50$  маючи мінімальне завантаження суміш швидко доходить до стану готовності, а потім починається процес зворотний змішування та якість суміші починає погіршуватися. Це так само спостерігається у умови, що з такою самою частотою обертання ми завантажуючи змішувач на  $\psi=50\%$  отримуємо підвищення якості суміші до  $V_c = 11,41\%$ .

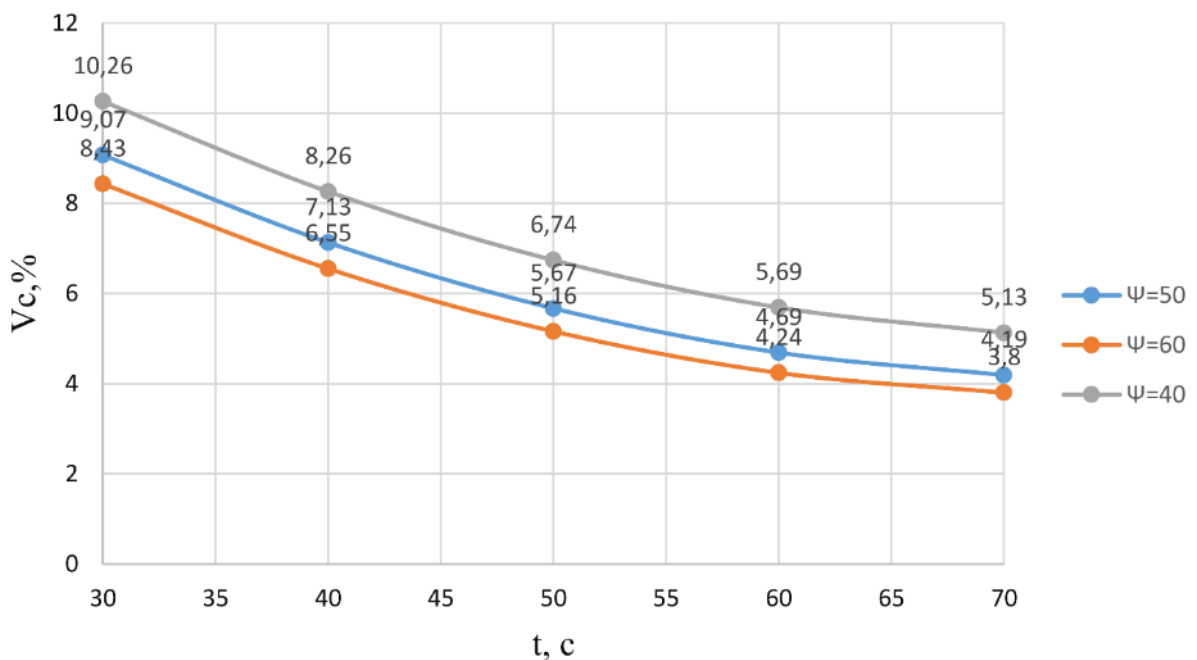


Рисунок 3.7- Графіки залежності  $V_c=f(t)$  при  $n=180$  об/хв

При мінімальному коефіцієнті неоднорідності суміші  $V_c=5,16\%$  сили, що впливають на компоненти у процесі змішування від робочих органів, будуть знаходитися в балансі, одночасно достатнього обсягу завантаження та частоти обертання. При цьому не виникатиме недостатньо перемішаних ділянок матеріалу чи навпаки не буде простежуватися надлишок часу чи частоти обертання, що призводить до появи сегрегації і як наслідок погіршення кінцевої якості змішування.

На рис. 3.7 показано залежність  $V_c = f(t)$ , де спостерігається спадання графіка. Цей факт пояснюється тим, що зі збільшенням часу змішування суміш досягає якіснішого стану. При цьому при малому завантаженні змішувача - 40% показники неоднорідності суміші найвищі оскільки при постійній частоті збільшуючи час ми отримуємо надлишкове змішування та початок сегрегації. Проте в інтервалі часу  $t=60-70$  с спостерігається досить добрі показники коефіцієнта неоднорідності суміші  $V_c = 5,18\%$  при завантаженні  $\psi = 40\%$ ,  $V_c = 4,19\%$  при завантаженні  $\psi=50\%$ ,  $V_c=3,8\%$  при завантаженні  $\psi=60\%$ . Можна зробити висновок, що при заданих параметрах частоти обертання та кількості робочих органів на даний час інтервал є найбільш оптимальним за якістю суміші, що готується.

### 3.3 Висновки

Виконано лабораторні експерименти, за результатами яких були отримані регресійні рівняння  $q, V_c=f(n, \psi, t)$ . Проаналізовано рівняння регресії та виявлено вплив змінних параметрів  $n, \psi, t$  на формування функцій відгуку  $q, V_c$ . Виконано аналіз впливу не тільки окремих факторів, а й їх одночасного впливу на процес змішування. Визначено інтервали раціональних значень факторів  $n, \psi, t$  для умов  $q \rightarrow \min, V_c \rightarrow \min$ , які виконуються при:  $n=160-210$  об/хв,  $t=45-55$  с,  $\psi=55-65\%$ .

## **4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях**

### **4.1 Загальні визначення та поняття**

Охорона праці (ОП) - сфера наукових знань, що вивчає небезпеки та засоби захисту від них. Під охороною праці також розуміється система забезпечення безпеки життя та здоров'я працівників у процесі трудової діяльності, що включає правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, соціально-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи. З охороною праці тісно пов'язана пожежна безпека, оскільки під час пожеж часто гинуть люди.

Безпека праці - система організаційних заходів та технічних засобів, що запобігають впливу на працюючих небезпечних виробничих чинників.

Виробнича санітарія - система організаційних заходів та технічних засобів, що запобігають впливу на працюючих шкідливих виробничих факторів.

Умови праці - сукупність факторів виробничої середовища, що впливають на здоров'я та працездатність людини у процесі праці. Вимоги безпеки праці встановлені законодавчими актами, нормативно-правовою документацією, правилами та інструкціями.

Небезпечний виробничий фактор - фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до травми чи іншому раптовому різкому погіршенню здоров'я.

Шкідливий виробничий фактор - фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до захворювання чи зниження працездатності. В залежності від рівня та тривалості впливу такий фактор може стати небезпечним.

Безпека виробничого обладнання - властивість обладнання зберігати безпечний стан під час виконання заданих функцій за умов, встановлених нормативно-технічної документацією.

Безпека виробничого процесу – властивість виробничого процесу зберігати відповідність вимогам безпеки праці в умовах, встановлених нормативно-технічною документацією.

Засіб захисту працюючого - засіб, застосування якого запобігає чи зменшує вплив на працюючих небезпечних та/або шкідливих виробничих факторів.

Виробнича травма – травма, отримана працюючим на виробництві. Виробничий травматизм - явище, що характеризується сукупністю виробничих травм.

Професійне захворювання - хронічне чи гостре захворювання, що є результатом впливу на працюючого шкідливого виробничого фактора (факторів) і спричинило тимчасову або стійку втрату їм професійної працездатності.

Професійна захворюваність - явище, що характеризується сукупністю професійних захворювань. Основні положення охорони праці базуються на тому, що діяльність людини потенційно небезпечна; небезпеки, реалізуючись у просторі та в часі, завдають шкоди людині, що виявляється в нервових потрясіннях, хворобах, травмах, інвалідних та летальних наслідках та ін; захист від небезпеки - актуальна гуманна та соціально-економічна проблема національної значимості.

## **4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища**

Охорона праці в комбікормовій промисловості є складною, багатоаспектною системою, що має свої специфічні цілі, завдання та засоби їх досягнення. Одним із найважливіших принципів організації виробництва є створення безпечних умов праці на всіх стадіях виробничого процесу. Сучасне виробництво комбікормів є комплексом складних і різноманітних технологічних процесів.

Це створює можливість для комбінованого впливу несприятливих факторів виробництва на організм працюючих, що ускладнює їхню оцінку як потенційних факторів ризику у розвитку професійних неспецифічних захворювань.

У процесі експлуатації обладнання, призначеного для приготування комбікормів, виникає низка небезпек, що негативно впливають на працездатність та здоров'я персоналу. До таких факторів можна зарахувати рухомі частини обладнання; запиленість; підвищений рівень шуму та вібрації; підвищена температура повітря робочої зони та поверхонь обладнання; вибухопожежо-небезпека, ураження електричним струмом. Таким чином, у комбікормовому виробництві працюючі можуть піддаватися впливу комплексу різних факторів. Основними з них є пил, несприятливий мікроклімат, шум та вібрація.

Особливістю умов праці на комбікормовому виробництві є вплив на організм працюючих пилу, яка за складом є змішаною і складною, так як до складу комбікормів входить велика кількість компонентів: зернова суміш (пшениця, жито, ячмінь, овес, тощо.), різні види шротів, макухи, трав'яне борошно, борошно кісткове і м'ясо-кісткове, борошно рибне, борошно вапнякове, черепашник, фосфати, кухонна сіль, дріжджі гідролізні, антибіотики, ферменти, премікси, комплекси мінералів і вітамінів. створюють машини та агрегати з механізмами ударної дії (дробарки, млини), а також установки, робота яких пов'язана з використанням потужних повітряних потоків (пневмосистеми, сепаратори тощо).

При виробництві комбікормів виділяється значна кількість органічного пилу, здатного за певних умов утворювати в суміші з повітрям вибухо- і пожежонебезпечне середовище. Пил надає несприятливий вплив на працюючих, крім того викликає передчасне зношування технологічного обладнання; пило-ві викиди забруднюють довкілля. Комбікормовий пил здатний утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші, відкладення пилу є великою пожежною небезпекою. Вибухонебезпечні концентрації можуть утворюватися в технологічному обладнанні, системах аспірації та пневмотранспорту, силосах та бункерах. Недоліки при проектуванні та експлуатації виробництв можуть призводити до аварій на комбікормових та інших підприємствах, пов'язаних з пере-

робкою рослинної сировини. Імовірність виникнення вибухів визначається кількістю дрібнодисперсного продукту, що обертається; показниками його пожежо- вибухонебезпечності; особливостями технології та оснащення об'єктів виробничим обладнанням; обсягом та ефективністю заходів із вибухозахисту.

#### **4.3 Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів**

Основний метод запобігання запиленості повітря у виробничих приміщеннях - герметизація обладнання, повітроводів та самопливних труб. Для усунення джерел займання слід правильно експлуатувати технологічне обладнання та аспіраційні системи.

Основні джерела шуму у комбікормовому виробництві - дробильно-розмелююче обладнання, гранулятори, вибивні машини. Різноманітність використовуваної сировини визначає великий набір дробильно-розмелюючих машин (молоткові дробарки, дезінтегратори, вальцьові верстати, верстати для дроблення макухи та ін.). Найчастіше застосовуються молоткові дробарки, у зоні обслуговування яких рівень звуку може перевищувати гранично допустимий. У місцях очищення повітря пневмосистем рівень звуку може досягати 100 дБ А, а біля грануляторів - 95 дБ А. Високі рівні шуму можуть створюватися за відсутності звукоізолюючих пристроїв шляхом транспортерів, у місць розміщення моторів і редукторів. Для зменшення шуму при роботі дробарок необхідно розміщення їх на ізольованих, окремо стоять фундаментах з установкою спеціальних амортизаторів, що поглинають звук, а повітропроводи та самопливні труби слід з'єднувати через м'які манжети або прокладки. Постійні робочі місця подрібнювачів повинні розташовуватись у звукоізольованих кабінах. Виробниче обладнання, машини, агрегати, розвантажувачі, вентилятори, що генерують загальну вібрацію, необхідно конструювати та встановлювати з урахуванням забезпечення на робочих місцях гранично допустимих рівнів вібрації на основі вимог ТИПУ застосуванням організаційно-технічних заходів щодо віброізоляції та вібропоглинання.

Удосконалення охорони праці при виконанні технологічних процесів приготування комбікормів є невід'ємною частиною організації праці на виробництві та ґрунтується на проведенні комплексу різних за характером заходів:

- застосування виробничого обладнання, що не є джерелом травматизму та професійних захворювань;
- Використання виробничих приміщень, що задовольняють відповідним вимогами комфортності працюючих;

- раціональне розміщення виробничого обладнання та організація робочих місць;
- професійний відбір, навчання працюючих, перевірка їх знань та навичок з безпеки праці;
- організація та проведення інструктажів з охорони праці на виробництві;
- застосування технічних та організаційних заходів щодо запобігання пожежі та (або) вибуху та протипожежному захисту.

#### **4.4 Правила безпечного виконання робіт при приготуванні сипких кормів**

До роботи на кормоприготувальних машинах допускаються особи, які не мають медичних протипоказань, пройшли виробниче навчання, склали іспити кваліфікаційної комісії, отримали відповідне посвідчення за спеціальністю та I кваліфікаційну групу з електробезпеки, а також пройшли інструктажі: вступний та первинний. Усі згадані працівники в залежності від професії забезпечуються спеціальним одягом, взуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до Типових норм.

При дистанційному керуванні механізмами, робітниками органами, окремими машинами технологічних ліній (транспортерами, засувками), віддаленими від працівника або розташованими в іншому приміщенні та обслуговуваними двома та більше працівниками, має діяти система автоматичної передпускової та (або) післяпускової сигналізації (звуковий, світловий) тривалістю 5 – 15 секунд. Зернова сировина та компоненти комбикормів повинні відповідати вимогам до сировини за вологістю, температурі, ступеню подрібнення і не мати сторонніх домішок. Застосовувані для уловлювання металевих домішок магніти повинні систематично перевірятися та очищатися в відповідно до встановленого графіка. Очищати магніти слід через люки дерев'яні скребки.



Машини та обладнання слід пускати в роботу з заздалегідь встановленому сигналу та в послідовності, визначеній технологічними картами. Перед включенням двигуна потрібно зробити пробне прокручування робочих органів машини, щоб перевірити, чи не потрапили сторонні предмети всередину. Подача корму до подрібнювача повинна проводитися тільки після виходу ротора на робочий режим. Тривала робота на холостому ході не допускається. Для очищення робочих органів, що забилися, включається Зворотній хід. Якщо забивання усунути таким шляхом не можна, робітники органи очищають спеціально передбаченими з цією метою чистиками при знеструмленому електроприводі.

При забиванні труб та циклонів кормами слід зупинити машину. Усі роботи з технічного обслуговування, ремонту машин необхідно виконувати відповідно до чинних вимог правил технічної експлуатації електроустановок та правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів, а також із урахуванням специфіки виробництва. Не допускається робота на подрібнювачах з незбалансованим ротором та незакріпленими робочими органами. Корм на подрібнення повинен подаватися рівномірно. У разі необхідності для проштовхування корму слід використовувати дерев'яні штовхачі. Рукоятка штовхача повинна мати обмежувач входу в приймальну горловину, а довжина робочої частини має бути менше глибини приймальної горловини.

Під час роботи подрібнювача не допускається запилення в місцях з'єднання транспортуєчих труб з корпусом дробарки та циклоном. Заслінка повинна щільно перекривати горловину циклону, а пиловловлювач - не мати пошкоджень. З метою зменшення пилоутворення при вільному падіння корму з направляючих жолобів чи транспортерних стрічок необхідно використовувати пристрої, що виключають розпилення та розкидання корму (спускні рукави, фартухи із щільної тканини). Робота з компонентами (білкові, мінеральні, лікарські добавки) повинна проводитися при працюючій системі аспірації чи місцевої вентиляції з використанням засобів індивідуального захисту органів дихання, зору, покривів шкіри. Очищати від забивання робочі органи устаткування допускається тільки при вимкненому та повністю зупиненому устатку-

ванні із застосуванням заходів, що виключають випадковий пуск машини. На пусковий пристрій навішується табличка «Не вмикати! Працюють люди».

Обслуговування бункерів-накопичувачів та змішувачів слідус виготовляти з майданчиків, що мають огорожу заввишки не менше ніж 1 м. Зводи, що утворюються в бункерах-накопичувачах і змішувачах слід обрушувати за допомогою спеціально виготовлених пристроїв. Управління процесом руху продукту та подачі тепла має бути автоматизовано та заблоковано з роботою розвантажувального пристрою. Сушильний агрегат має бути обладнаний приладами контролю за температурою. Не допускається робота на агрегаті при несправному регульовальному мілівольтметрі, відсутності пристрою для зняття статичної напруги, відсутності витяжної вентиляції в приміщенні затарювання борошна та місцевої вентиляції у завантажувальних горловин.

#### **4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях**

Як було сказано вище, однією з небезпек при виробництві комбікормів може бути вибух, через надмірну запиленість повітря. Вибух – це горіння, що супроводжується визволенням великої кількості енергії в обмеженому обсязі за короткий проміжок часу. Вибух призводить до утворення та поширення ударної хвилі з надлишковим тиском, що надає механічний вплив на навколишні предмети. Основні вражаючі чинники вибуху: повітряна ударна хвиля та осколкові поля, що утворюються уламками зруйнованих об'єктів, що летять, технологічного обладнання, вибухових пристроїв.

При загрозі вибуху слід лягти на живіт, захищаючи голову руками, подалі від вікон, закслених дверей, проходів, сходів. Якщо стався вибух, вжити заходів щодо недопущення пожежі та паніки; надати першу допомогу постраждалим. Кожен працівник при виявленні вогнища загоряння чи ознак горіння (задимлення, запах гару, підвищення температури тощо) повинен: негайно повідомити про це телефоном «101». При цьому назвати найменування об'єкта, місце вибуху, пожежі, а також своє прізвище; вжити заходів щодо евакуації людей, гасіння пожежі та збереження матеріальних цінностей.

Вимоги щодо використання первинних засобів пожежогасіння: вуглекислотні вогнегасники (ВУ-2, ВУ-3, ВУ-5, ВУ-6, ВУ-7 тощо) призначені для гасіння загорянь різних горючих речовин, виключення тих, горіння яких відбувається без доступу повітря, а також застосовуються для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою до 1000В. Вогнегасна речовина - двоокис вуглецю.

Для приведення в дію вуглекислотних вогнегасників необхідно розтруб направити на палаючий предмет, зірвати пломбу, висмикнути чеку, натиснути на важіль (або повернути маховик вентиля вліво вщент), направити струмінь на полум'я. Тримати вогнегасник вертикально, перевертати його не потрібно. Щоб уникнути обморожування, не торкатися металевої частини розтрубу оголеними частинами тіла. При гасінні електроустановок, що знаходяться під напругою, не допускається підводити до них розтруб ближче 1м.

Внутрішні пожежні крани (ПК) призначені для подачі води при гасінні твердих матеріалів, що загоряються, і горючих рідин. Внутрішній ПК вводиться в роботу двома працівниками: один прокладає рукав та тримає наготові пожежний ствол для подачі води у вогнище горіння, другий – перевіряє приєднання пожежного рукава ПК та відкриває вентиль для надходження води.

Азбестове полотно, повсть (кошма) використовуються для гасіння невеликих вогнищ загоряння будь-яких речовин та матеріалів, горіння яких не може відбуватись без доступу повітря. Осередок загоряння накривається азбестовим, або повстяним полотном для припинення повітря.

Пісок застосовується для механічного збивання полум'я та ізоляції палаючого або тліючого матеріалу від доступу повітря. Подається у вогнище пожежі лопатою чи совком.

#### **4.6 Висновки**

Приведено основні визначення та поняття щодо охорони праці та її складових. Визначено, які саме небезпечні фактори виникають при виробництві комбікормів, запропоновано ряд заходів для запобігання та уникнення дії визначених факторів. Розроблено порядок безпечної роботи при приготування сипких кормів та порядок дій при виникненні надзвичайної ситуації.

## 5 Економічна оцінка розробленого змішувача

Розроблений змішувач є малогабаритним тому найбільш можливе його застосування в якості машини для приготування преміксів при багатостадійному приготуванні сипких кормів. У зв'язку з цим, порівнювати розроблений змішувач будемо з найближчим аналогом за призначенням, а саме вертикальним лопатевим змішувачем типу СЛВ-2,2, яким укомплектовано комбикормовий цех МКУ-4В.

Так як переваги розробленого змішувача мають технічний характер (вища продуктивність, менша потужність) порівняння будемо проводити за експлуатаційними витратами, не враховуючи якісні характеристики отриманих кормів (вона приблизно однакова). Експлуатаційні витрати визначимо за наступною методикою.

Витрати на заробітну плату визначимо з виразу

$$Z = n \cdot t \cdot f \cdot \delta \cdot D, \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де  $n$  – чисельність обслуговуючого персоналу, люд.;

$t$  – тривалість роботи машини на добу, год.;

$f$  – годинна тарифна ставка одного працівника, грн/год.;

$\delta$  – коефіцієнт нарахування на заробітну плату;

$D$  – кількість робочих днів на рік;

Тривалість роботи машини на добу визначимо виходячи з добової потреби в преміксі для МКУ-4В при роботі в одну зміну.

$$t = \frac{Q_n}{Q_{зм}}, \text{ год.}, \quad (5.2)$$

де  $Q_n$  - добова потреба в преміксі, кг;

$Q_{зм}$  – продуктивність змішувача, кг/год.

Амортизаційні відрахування

$$A = \frac{B \cdot \alpha}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.3)$$

де  $B$  – балансова вартість машини, грн.

$\alpha$  – нормований коефіцієнт відрахувань на амортизацію машин та обладнання, %.

Відрахування на ремонт і технічне обслуговування техніки обчислюють за виразом

$$P = \frac{B \cdot \beta}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.4)$$

де  $\beta$  – нормований коефіцієнт відрахувань на ремонт обладнання та машин, %.

Витрати на електроенергію визначимо за формулою

$$E = N \cdot t \cdot D \cdot c_e, \text{ грн.}, \quad (5.5)$$

де  $N$  – потужність обладнання, кВт.;

$c_e$  – вартість електроенергії, грн/кВт·год.

Загальні експлуатаційні витрати складуть

$$EB = Z + A + P + E, \text{ грн.} \quad (5.6)$$

Економія експлуатаційних витрат

$$EEB = EB_1 - EB_2, \text{ грн.} \quad (5.7)$$

де  $EB_1$ ,  $EB_2$  – експлуатаційні витрати за базовим та розробленим варіантами відповідно, грн.

Термін окупності нового змішувача

$$P = \frac{B_2}{EEB}, \text{ грн.,} \quad (5.8)$$

де  $B_2$  – балансова вартість проектного змішувача, грн.

Вихідні дані та результати розрахунків приведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності змішувача

№ з.п.	Показник	СЛВ-2,2	змішувач за розробкою
1	2	3	4
1.	Чисельність обслуговуючого персоналу, люд.	1	1
2.	Годинна тарифна ставка, грн/год.	54,2	54,2
3.	Кількість робочих днів на рік	365	365

4.	Добова потреба в преміксі, кг	1500	1500
5.	Продуктивність змішувача, кг/год	550	620
1	2	3	4
6.	Тривалість роботи машини на добу, год.	2,7	2,4
7.	Балансова вартість машини, грн.	23000	17000
8.	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
9.	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8,0	8,0
10.	Вартість електроенергії, грн/кВт·год	2,32	2,32
11.	Потужність на привід, кВт	4	2,8
12.	Витрати на заробітну плату, грн.	53954	47862,10
13.	Амортизаційні відрахування, грн.	2300	1700
14.	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	1840	1360
15.	Витрати на електроенергію, грн.	3981,8	2472,58
16.	Експлуатаційні витрати, грн.	62075	53394,68
17.	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	8680,78
18.	Термін окупності нового змішувача, років	-	1,96

### Висновки

Як свідчить економічна оцінка розробленого змішувача сипких кормів при роботі у складі комбікормового цеху МКУ-4В він має нижчі показники експлуатаційних витрат в порівнянні з штатним змішувачем СЛВ-2,2 завдяки вищій продуктивності та меншій потужності на привід. Річна економія експлуатаційних витрат склала 8680 грн. а термін окупності нового змішувача 1,96 роки.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На сьогодні для змішування компонентів комбікормів на комбікормових заводах в основному використовують горизонтальні змішувачі безперервної дії лопатевого типу та горизонтальні лопатеві та спіральні-стрічкові порційного типу. Максимальне значення однорідності у таких змішувачах не перевищує 90%, що недостатньо для розподілу у готовому комбікормі мікрокомпонентів. Для отримання комбікорму з однорідністю не нижче 95%, як вимагають сьогодні тваринницькі та птахівничі господарства, необхідний такий вплив на компоненти, що змішуються, яке забезпечувало б ефективне конвективне і дифузійне змішування одночасно.

2. У аналізованому планетарному змішувачі за заданими координатами змішувальних стрижнів визначено швидкості їх руху та отримано рівняння, описують траєкторії руху місильних стрижнів і наведено їх графічна інтерпретація. Розроблено методику, що дозволяє виконати розрахунок потужності, необхідної для подолання опору сухої суміші внаслідок руху циліндричних стрижнів, а також потужності витрачається на рух робочих органів без завантаження.

3. Виконано лабораторні експерименти, за результатами яких були отримані регресійні рівняння  $q, V_c = f(n, \psi, t)$ . Проаналізовано рівняння регресії та виявлено вплив змінних параметрів  $n, \psi, t$  на формування функцій відгуку  $q, V_c$ . Виконано аналіз впливу не тільки окремих факторів, а й їх одночасного впливу на процес змішування. Визначено інтервали раціональних значень факторів  $n, \psi, t$  для умов  $q \rightarrow \min, V_c \rightarrow \min$ , які виконуються при:  $n=160-210$  об/хв,  $t=45-55$  с,  $\psi=55-65\%$ .

4. Приведено основні визначення та поняття щодо охорони праці та її складових. Визначено, які саме небезпечні фактори виникають при виробниц-

тві комбікормів, запропоновано ряд заходів для запобігання та уникнення дії визначених факторів. Розроблено порядок безпечної роботи при приготування сипких кормів та порядок дій при виникненні надзвичайної ситуації.

5. Як свідчить економічна оцінка розробленого змішувача сипких кормів при роботі у складі комбікормового цеху МКУ-4В він має нижчі показники експлуатаційних витрат в порівнянні з штатним змішувачем СЛВ-2,2 завдяки вищій продуктивності та меншій потужності на привід. Річна економія експлуатаційних витрат склала 8680 грн. а термін окупності нового змішувача 1,96 роки.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Мейз Дж. Теория и задача механики сплошных сред / Мейз Дж.; [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1974. – 320 с.
2. Жермен П. Курс механики сплошних сред / Жермен П.; [пер. с франц.]. – М.: Высшая школа, 1983. – 400 с.
3. Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна: учебник / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев, А.Е. Яблоков, I и III части под ред. Л.А. Глебова, II часть под ред. А.Б. Демского. - М.: Дели принт, 2010. - 696 с.
4. Заготівля, зберігання і використання кормів / Привало О. Є., Борисенко М. М. , Єрмоленко В. І.; за ред. О. Є. Привало. – К.: Урожай, 1981. – 176 с.
5. Kudrolli A. Size separation in vibrated granular matter / A. Kudrolli //Reports on progress in physics. – 2004. – Vol. 67(3). – С. 209 – 247.
6. Kafui K. D. Discrete particle-continuum fluid modeling of gas-solid fluidised beds / K. D. Kafui, C. Thornton, M. J. Adams // Chemical Engineering Science. – 2002. – Vol. 57. – С. 2395 – 2410.
7. Stephenson P. L. The effect of humidity on the production of ordered mixtures / P. L. Stephenson, W. J. Thie // Powder Technology. – 1980. – Vol. 25. – С. 115 – 119.
8. Мазник А. П. Справочник по комбикормам / А. П. Мазник, З. И. Хазина // – М.: Колос, 1982. – 192 с.
9. Макаров Ю. И. Аппараты для смешивания материалов / Ю. И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
10. Кулаковский И. В. Машины и оборудование для приготовления кормов: справочник / И. В. Кулаковский, Ф. С. Кирпичников, Е. И. Резник – М.: Росагропромиздат, 1987. – Ч. 1. – 285 с.
11. Черняев Н. П. Производство комбикормов / Черняев Н. П. – М.: Агропромиздат, 1989. – 224 с.

12. Черняев Н. П. Технология комбикормового производства / Черняев Н. П. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
13. Гурік О. Я. Обґрунтування параметрів транспортерів-змішувачів сипких матеріалів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 “Машини і засоби механізації с.-г. виробництва” / Олег Ярославович Гурік. – Тернопіль, 2003. – 20 с.
14. Демидов П. Г. Технология комбикормового производства / П. Г. Демидов – М.: Колос, 1968. – 224 с.
15. Демский А. Б. Оборудование для производства муки, крупы и комбикормов: справочник / А. Б. Демский, В. Ф. Ведньев. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 760 с
16. Кулаковский И. В. Машины и оборудование для приготовления кормов: справочник / И. В. Кулаковский, Ф. С. Кирпичников, Е. И. Резник – М.: Росагропромиздат, 1987. – Ч. 1. – 285 с.
17. Производство комбикормов и кормовых смесей в колхозах и совхозах / [Крапп Л. И., Евсеев Н. К., Генкин Г. С., Фирюлин Н. С.]. – М.: Колос, 1972. – 216 с.
18. Мазник А. П. Справочник по комбикормам / А. П. Мазник, З. И. Хазина// – М.: Колос, 1982. – 192 с.
19. Брагінець М. В. Монтаж, експлуатація і ремонт машин у тваринництві: навч. посіб. / Брагінець М. В., Педченко П. В., Резчик І. Г. – К.: Вища шкла, 1991. – 359 с.
20. Кулаковский И. В. Машины и оборудование для приготовления кормов: справочник / И. В. Кулаковский, Ф. С. Кирпичников, Е. И. Резник – М.: Росагропромиздат, 1988. – Ч. 2. – 286 с.
21. Миончинский П. Н. Производство комбикормов. – [2-е изд., доп. И перераб.] / П. Н. Миончинский, Л. С. Комарова. – М.: Агропромиздат, 1991. – 228 с.

22. Tardos G. I. Forces on a slowly rotating, rough cylinder in a Couette device containing a dry, frictional powder / G. I. Tardos, M. I. Khan // *Physics of Fluids*. – 1997. – Vol. 10 (2). – С. 335 – 341.
23. Кукта Г. М. Механизация и автоматизация животноводства / Г. М. Кукта, А. Л. Колесник, С. Г. Кукта – К.: Выща школа, 1990. – 335 с.
24. Удосконалення експлуатації машин і обладнання тваринницьких ферм та комплексів / [Кукта Г. М., Гейфман В. П., Дешко В. І. та ін.]; за ред. Г. М. Кукти. – К.: Урожай, 1989. – 224 с.
25. Братерский Ф. Д. Повышение эффективности смешивания компонентов комбикормов / Ф. Д. Братерский, И. И. Дударев; ЦНИИТЭИ. – М., 1981. – 48 с.
26. Герман Х. Шнековые машины в технологии ФРГ / Герман Х.; [перекл. с нем.]. – Л.: Химия, 1975. – 230 с.
27. Регуш В. В. Организация технического обслуживания машин в животноводстве / Регуш В. В. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 239 с.
28. Дудин В. Качество смешивания – важный этап в нашем производстве / В. Дудин // *Комбикорма*. – 1999. – № 7. – 26 с.
29. Михайлов В. А. Повышения качества смешивания компонентов комбикормов / В. А. Михайлов, Е. С. Кочегура, А. С. Алферов [и др.] // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. – 2011. – № 8. – С. 15 – 16.
30. Белехов И. П. Практикум по машинам и оборудованию для животноводства / И. П. Белехов – М.: Агропромиздат, 1986. – 288 с.
31. Семенцов В. І. Обґрунтування вибору критерію оцінки якості змішування кормової суміші / В. І. Семенцов, І. Г. Бойко // *Вісник Харків. Нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва*. – Х., 2005. – С. 24 – 32. (Сер.: Вдосконалення технологій та обладнання виробництва продукції тваринництва).
32. Сахаров С. Е. Технология приготовления смесей зерновых компонентов комбикормов с разработкой смесителя непрерывного действия гравитационного типа: автореф. дис. на соискание уч. степени канд.

- техн. наук: 05.20.01 “Механізація с. – х. виробництва” / С. Е. Сахаров. – Іваново, 2010. – 20 с.
33. Сахаров С. Е. Смеситель кормов / С. Е. Сахаров, М. Ю. Колобов, В. В. Колобова // Механізація і електрифікація сільського господарства. – 2012. – № 5. – С. 20 – 21.
34. Дмитрів Д. В. Стенд для дослідження процесу змішування комбікормів / Д. В. Дмитрів // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. / Луцький держ. техн. ун-т. – Луцьк, 1999. – Вип. 5. – С. 102 – 105.
35. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація
36. Об'єкт підвищеної небезпеки // Юридична енциклопедія : [у 6 т.] / ред. кол. Ю. С. Шемшученко (відп. ред.) [та ін.] - К. : Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана, 2002. - Т. 4 : Н - П. - 720 с. - ISBN 966-7492-04-4.
37. Навчальний посібник з охорони праці / Дніпропетр. держ. агр. ун-т. - Дніпропетровськ, 2009 р. - 132 с.
38. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила устрою електроустановок. електрооборудование спеціальних установок
39. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99, затверджені постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.99 р. № 42.

## **ДОДАТКИ**

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

## **Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів змішувача сипких кормів**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-3-20  
Потапов Михайло Володимирович

Керівник: к.т.н., доцент  
Дудін Володимир Юрійович

Дніпро-2021



## Мета і задачі досліджень

Мета дослідження: підвищення ефективності технологічного процесу змішування сипких кормів шляхом обґрунтування параметрів змішувача.

Для досягнення мети вирішувалися такі задачі:

- аналіз існуючих конструкцій змішувачів та перспективи їх розвитку;
- теоретичне обґрунтуванням параметрів змішувача;
- проведення лабораторних досліджень змішувача;
- аналіз розробленої конструкції з точки зору охорони праці;
- оцінка економічних показників змішувача.

Об'єкт дослідження - змішувач сипких кормів періодичної дії.

Предмет дослідження - закономірності робочого процесу змішувача сипких кормів.

В дослідженнях застосовувалися теоретичні методи аналізу, експериментальні методи, а саме: візуального спостереження, лабораторного експерименту, математичної статистики, порівняння експериментальних результатів та теоретичних.

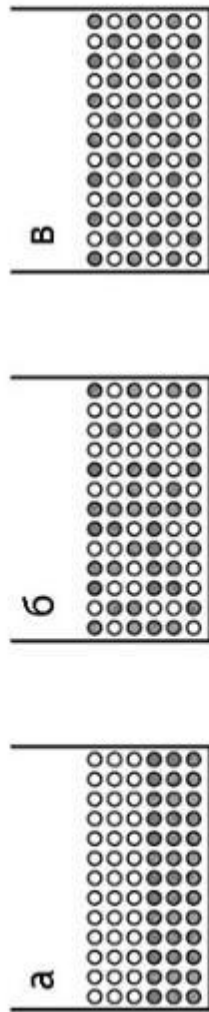


Рисунок 1 - Стадії змішування двох компонентів: а - вихідний стан; б - статистичний розподіл компонентів у процесі змішування; в - ідеально перемішана суміш (практично не здійсненна)

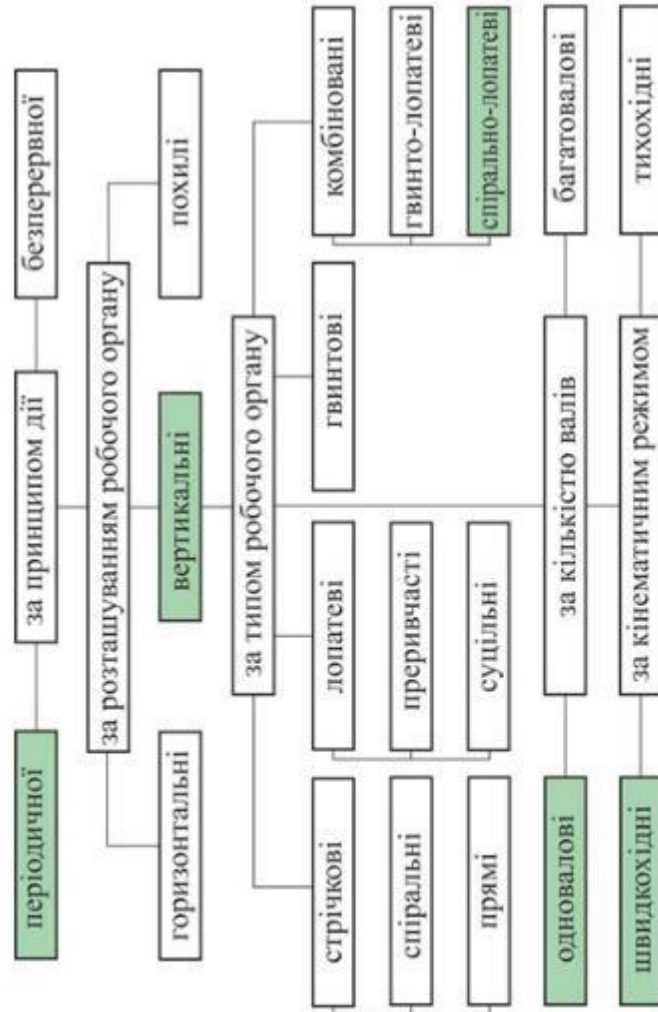


Рисунок 2 - Класифікація змішувачів сипких кормів

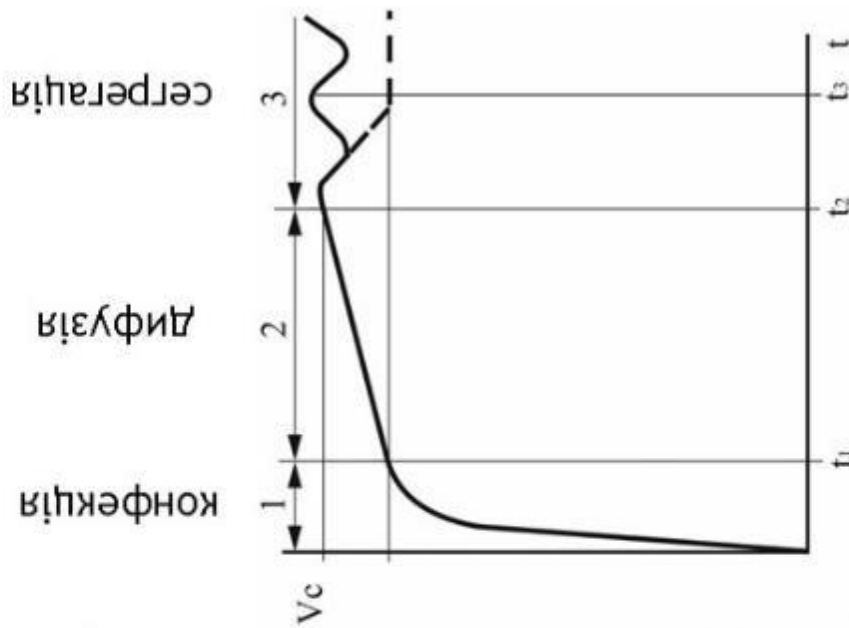


Рисунок 3 - Кінетика процесу змішування

## Теоретичні дослідження

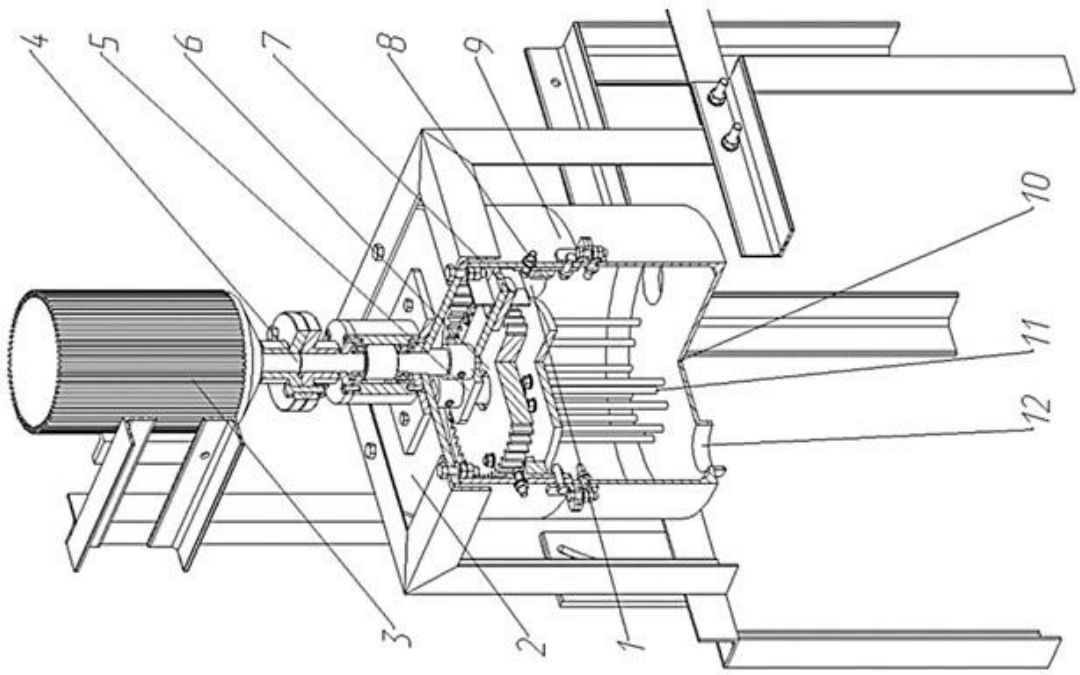


Рисунок 4 - Конструкція нового планетарного змішувача сипких кормів: 1 - завантажувальний пристрій; 2 - кришка корпусу; 3-двигун; 4 - вихідний вал; 5 - повідець; 6 - шестерня; 7 - противага; 8 - зубчастий вінець; 9 - корпус; 10 - ємність; 11 - мішалка; 12 - розвантажувальний пристрій

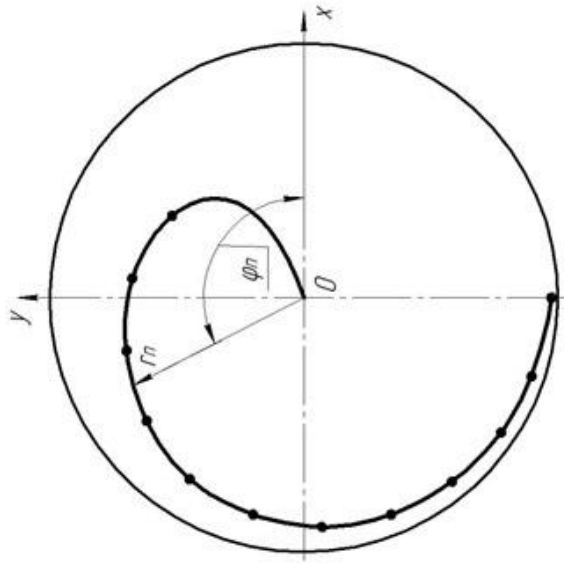


Рисунок 5 - Розрахункова схема для визначення координат установки циліндричних стрижнів.



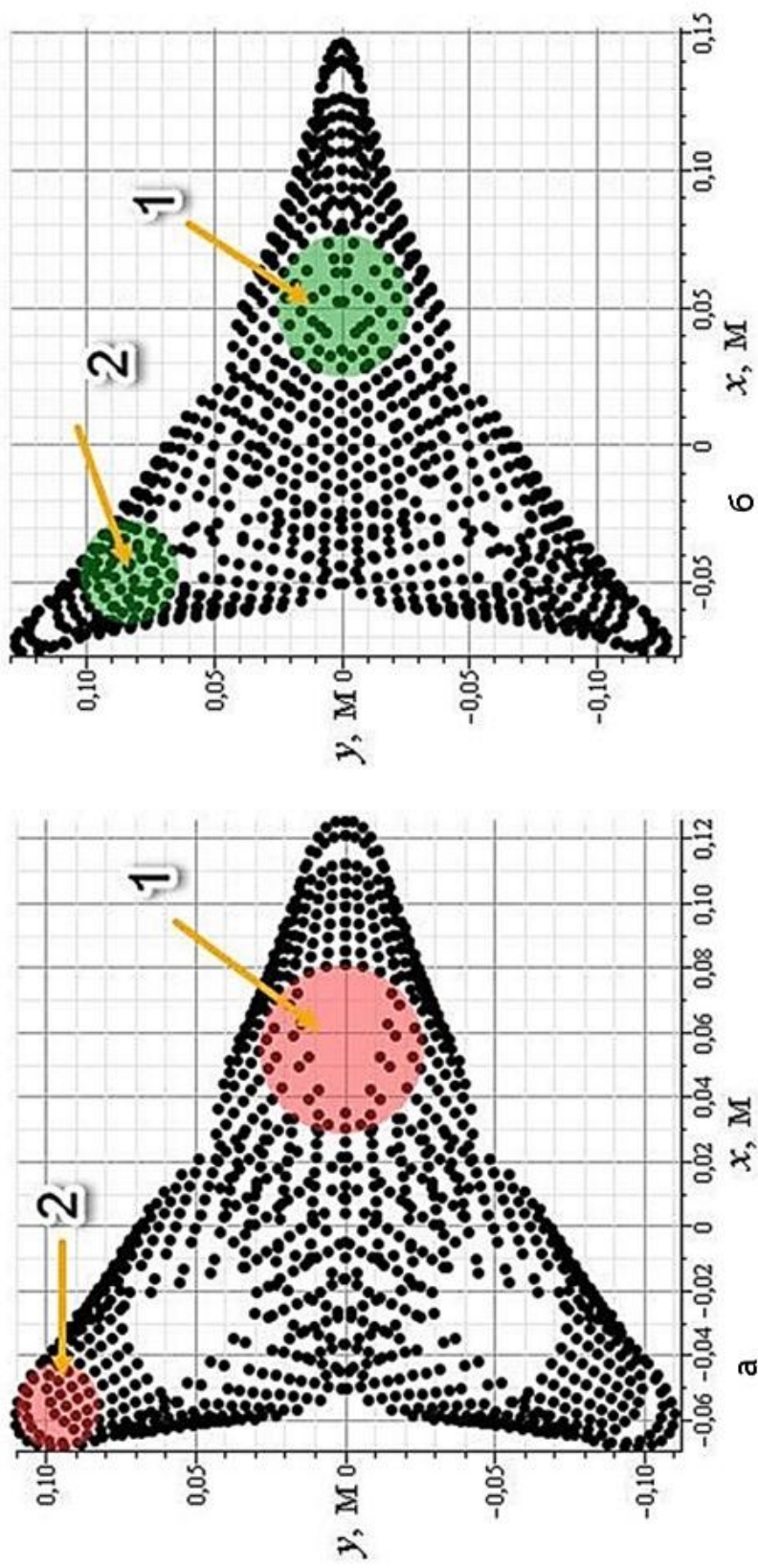


Рисунок 6 - Сумарна пляма кривих траєкторій руху стрижнів, що при радіусі спіралі 0,07 (а) та 0,09 (б) м: 1-зона впливу між краєм та центром, 2-зона впливу біля краю ємності

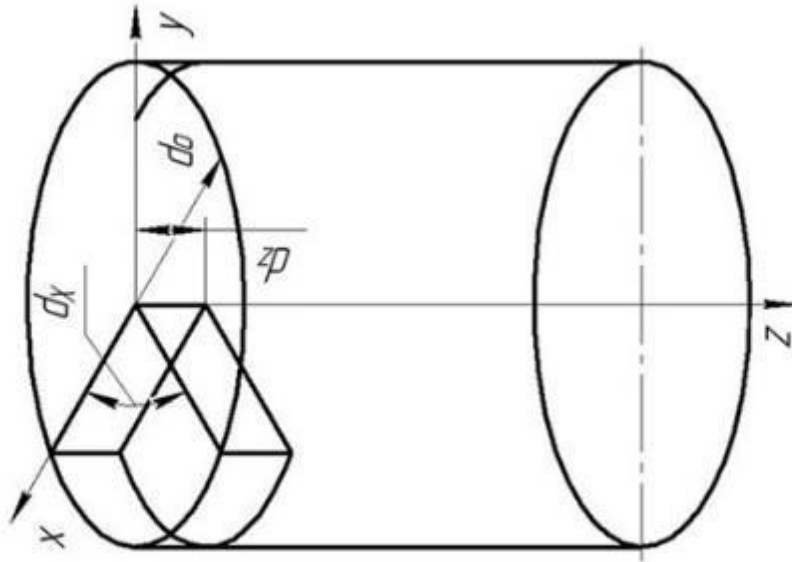


Рисунок 7 - Розрахункова схема для визначення величини сили опору середовища на зовнішню поверхню стрижня

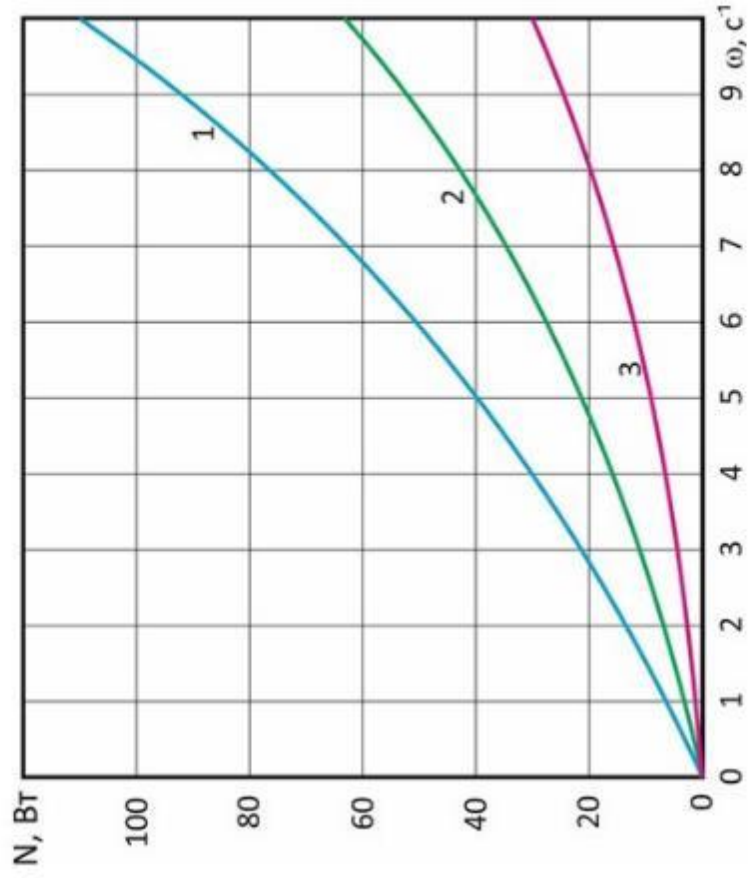


Рисунок 8 - Графічна залежність потужності від зміни частоти обертання рухомий шестерні: 1 - при коефіцієнті завантаження  $\psi = 70\%$ ; 2 -  $\psi = 50\%$ ; 3 -  $\psi = 30\%$ .

## Програма та методика експериментальних досліджень



Рисунок 9 - Загальний вигляд лабораторної установки: 1-блок живлення, 2-бункер, 3-2-вінцева шестерня, 4-диск зі стержнями, 5 -електродвигун

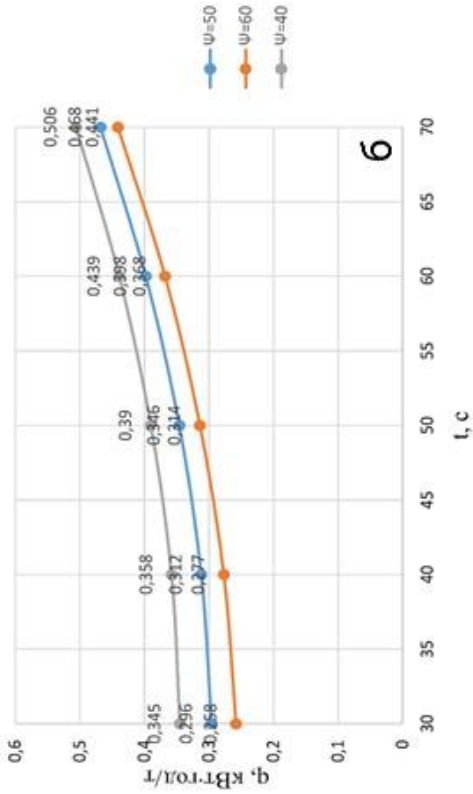
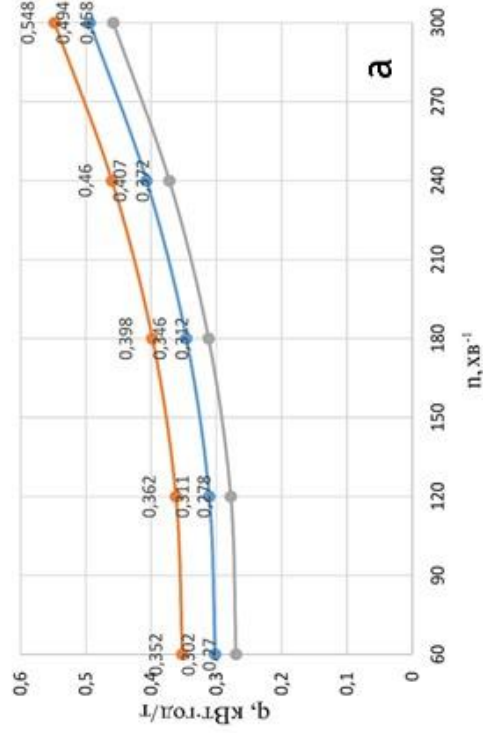
Досліджуваними факторами були обрані:

- частота обертання,  $\text{хв}^{-1}$  ( $X_1$ );
- тривалість циклу перемішування,  $\text{с}$  ( $X_2$ );
- коефіцієнт завантаження ємності, % ( $X_3$ ).

Функції відгуку:

- питомі енерговитрати,  $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{т}$  ( $q$ );
- коефіцієнт неоднорідності суміші, % ( $V_c$ ).

## Результати експериментальних досліджень



$$q = 0,00006 \cdot \psi^2 - 0,000005 \cdot \psi \cdot n + 0,00002 \cdot \psi \cdot t - 0,01 \cdot \psi + 0,000001 \cdot n \cdot t - 0,00044 \cdot n + 0,000003 \cdot n^2 + 0,00009 \cdot t^2 - 0,0087 \cdot t + 1,3358$$

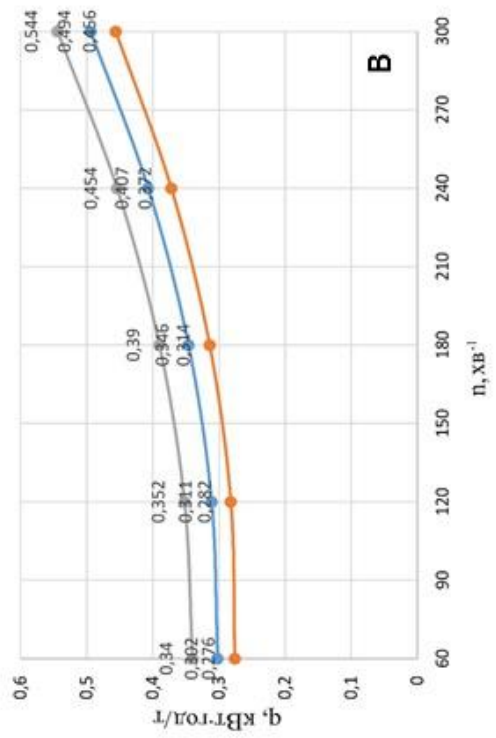
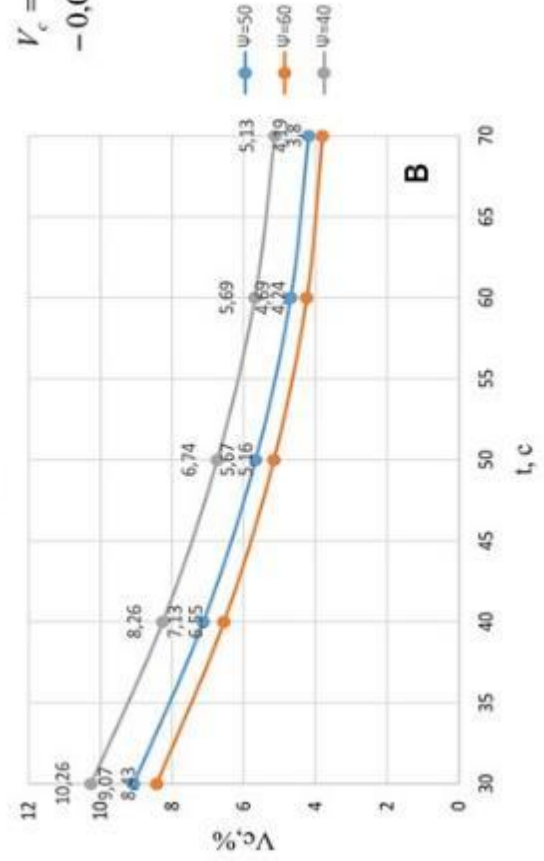
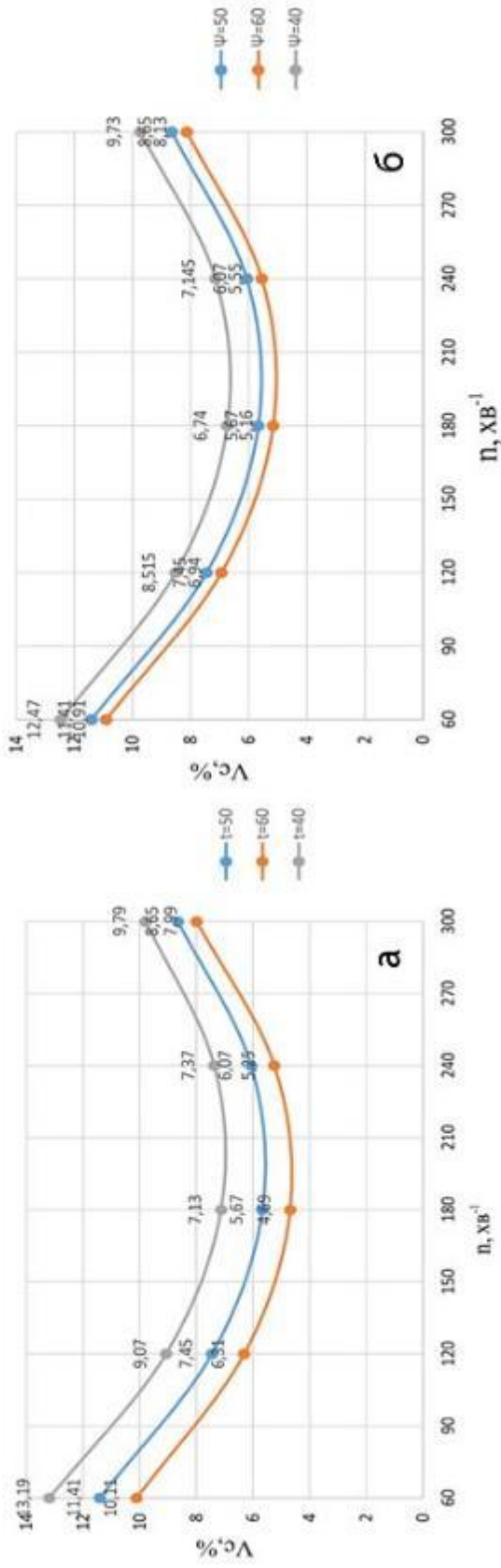


Рисунок 10 - Графіки залежності  $q=f(n)$  при  $\psi=50\%$  (а),  $n=180$  об/хв (б),  $t=50$  с



## Результати експериментальних досліджень



$$V_c = 0,0028 \cdot \psi^2 - 0,000008 \cdot \psi \cdot n + 0,00063 \cdot \psi \cdot t - 0,3733 \cdot \psi - 0,0003 \cdot n^2 + 0,0002 \cdot n \cdot t - 0,1372 \cdot n + 0,0024 \cdot t^2 - 0,8045 \cdot t + 50,184$$

Рисунок 11 - Графіки залежності  $V_c=f(t)$   
при:  $\psi=50\%$  (а),  $t=50$  (б),  $n=180$  об/хв (в)



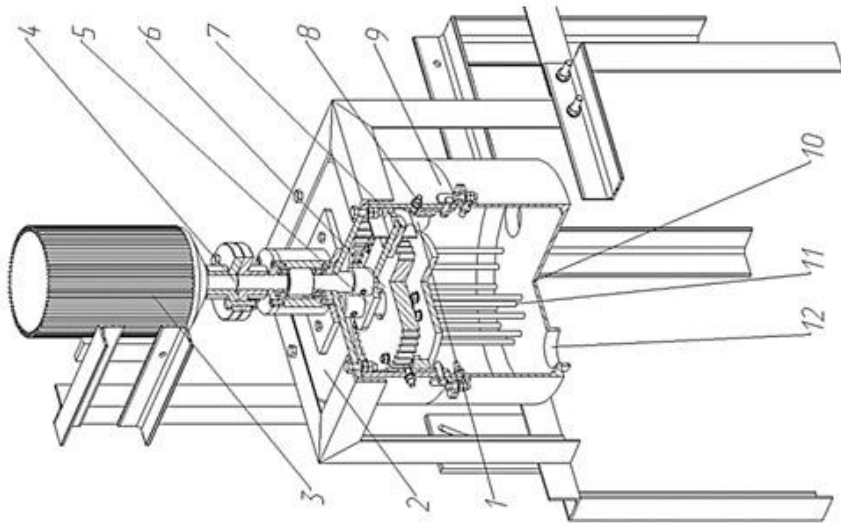


Рисунок 12 - Змішувач силкових кормів: 1 - авантажувальний пристрій; 2 - кришка корпусу; 3-двигун; 4 - муфта; 5 - повідець; 6 - шестерня; 7 - противага; 8 - зубчастий вінець; 9 - корпус; 10 - ємність; 11 - мішалка; 12 - розвантажувальний пристрій

Таблиця 1 - Карта контролю показників безпеки змішувача

Поз.	Найменування вузла машини	Контролюємі показник, нормативні вимоги безпеки	Метод оцінки прилади, обладнання	Періодичність
3	Електродвигун	Відсутність пилу та бруду. Надійність кріплень. Наявність та справність заземлення. Ступінь нагріву. Надійність контактів з'єднання	Зовнішній огляд Випробування Огляд, випробування	□ ○ △
4	Муфта	Наявність захисних кожухів.	Зовнішній огляд	□ ○
6,8	Шестерня, зубчастий вінець	Відсутність пилу та бруду. Надійність кріплень. Цілісність зубів.	Зовнішній огляд Випробування Огляд, випробування	□ ○ △
2, 9	Кришка корпусу, корпус	Відсутність пилу, бруду, механічних пошкоджень. Надійність кріплень.	Зовнішній огляд Випробування	□ ○
11	Рама	Надійність кріплень.	Випробування	□

○ – щозмінний; □ – щомісячний; △ – сезонний (річний).

## Техніко-економічна оцінка

Показник	СЛВ-2,2		змішувач за розробкою
	1	2	
Чисельність обслуговуючого персоналу, люд.	1		1
Годинна тарифна ставка, грн/год.	54,2		54,2
Кількість робочих днів на рік	365		365
Добова потреба в премієсі, кг	1500		1500
Продуктивність змішувача, кг/год	550		620
Тривалість роботи машини на добу, год.	2,7		2,4
Балансова вартість машини, грн.	23000		17000
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10		10
Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8,0		8,0
Вартість електроенергії, грн/кВтгод	2,32		2,32
Потужність на привід, кВт	4		2,8
Витрати на заробітну плату, грн.	53954		47862,10
Амортизаційні відрахування, грн.	2300		1700
Відрахування на ремонт і ТО, грн.	1840		1360
Витрати на електроенергію, грн.	3981,8		2472,58
Експлуатаційні витрати, грн.	62075		53394,68
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-		8680,78
Термін окупності нового змішувача, років	-		1,96

1. На сьогодні для змішування компонентів комбікормів на комбікормових заводах в основному використовують горизонтальні змішувачі безперервної дії лопатевого типу та горизонтальні лопатеві та спіральні-стрічкові порційного типу. Максимальне значення однорідності у таких змішувачах не перевищує 90%, що недостатньо для розподілу у готовому комбікормі мікрокомпонентів. Для отримання комбікорму з однорідністю не нижче 95%, як вимагають сьгодні тваринницькі та птахівничі господарства, необхідний такий вплив на компоненти, що змішуються, яке забезпечувало б ефективне конвективне і дифузійне змішування одночасно.
2. У аналізованому планетарному змішувачі за заданими координатами змішувальних стрижнів визначено швидкості їх руху та отримано рівняння, описують траєкторії руху місильних стрижнів і наведено їх графічна інтерпретація. Розроблено методику, що дозволяє виконати розрахунок потужності, необхідної для подолання опору сухої суміші внаслідок руху циліндричних стрижнів, а також потужності витрачається на рух робочих органів без завантаження.
3. Виконано лабораторні експерименти, за результатами яких були отримані регресійні рівняння  $q, V_c = f(n, \psi, t)$ . Проаналізовано рівняння регресії та виявлено вплив змінних параметрів  $n, \psi, t$  на формування функцій відгуку  $q, V_c$ . Виконано аналіз впливу не тільки окремих факторів, а й їх одночасного впливу на процес змішування. Визначено інтервали раціональних значень факторів  $n, \psi, t$  для умов  $q \rightarrow \min, V_c \rightarrow \min$ , які виконуються при:  $n=160-210 \text{ об/хв}, t=45-55 \text{ с}, \psi=55-65\%$ .
4. Приведено основні визначення та поняття щодо охорони праці та її складових. Визначено, які саме небезпечні фактори виникають при виробництві комбікормів, запропоновано ряд заходів для запобігання та уникнення дії визначених факторів. Розроблено порядок безпечної роботи при приготування сипких кормів та порядок дій при виникненні надзвичайної ситуації.
5. Як свідчить економічна оцінка розробленого змішувача сипких кормів при роботі у складі комбікормового цеху МКУ-4В він має нижчі показники експлуатаційних витрат в порівнянні з штатним змішувачем СЛВ-2,2 завдяки вищій продуктивності та меншій потужності на привід. Річна економія експлуатаційних витрат склала 8680 грн. а термін окупності нового змішувача 1,96 роки.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ**

**ІНЖИНІРИНГ АГРОПРОМИСЛОВОГО  
ВИРОБНИЦТВА**

**Всеукраїнська студентська науково-практична конференція**

**Дніпро, 2021**

**УДК 631:62-5**

**Інжиніринг агропромислового виробництва:** матеріали Всеукр.  
І 62 студ. наук.-практ. конф. (1-2 грудня 2021 р., м. Дніпро). – Дніпро:  
ДДАЕУ, 2021. – 80 с.

У збірнику представлені наукові матеріали Всеукраїнської науково-практичної студентської конференції «Інжиніринг агропромислового виробництва» (zareestrovano в УкрІНТЕІ, 8.11.2021, № 904). Тематика наукових матеріалів присвячена питанням розроблення та впровадження інноваційних технологій та технічних засобів агропромислового виробництва.

Наукові матеріали надані в авторській редакції з дотриманням стилю автора. За фактичний матеріал і його інтерпретацію відповідальність несуть автори та наукові керівники.

Адреса оргкомітету:

Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Сергія Єфремова, 25  
тел. (050) 970-16-90, Дніпровський державний аграрно-  
економічний університет, кафедра механізації виробничих  
процесів у тваринництві, [dudin.v.yu@dsau.dp.ua](mailto:dudin.v.yu@dsau.dp.ua)

© ДДАЕУ, 2021

© Автори публікацій, 2021



---

<b>Хоменко Т. А.</b> МЕТОДИКА ОБГРУНТУВАННЯ ПРОГРАМИ ПІДПРИЄМСТВА З ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ	33
<b>Бабич А.С.</b> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ МИЙНОГО РОЗЧИНУ ПО МОЛОКОПРОВІДНІЙ ЛІНІЇ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	36
<b>Буйницький О.І.</b> УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕСТЕРА ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК	39
<b>Геймур О.С.</b> ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ СТІЙЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БОКСОВОГО УТРИМАННЯ ВРХ	42
<b>Панасенко В.А.</b> АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕПАРАЦІЇ РІДКОГО ГНОЮ НА ФРАКЦІЇ	45
<b>Пащенко А.О.</b> ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ	48
<b>Похиленко Р.В.</b> АНАЛІЗ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ ПРОТОЧНОЇ ДІЇ	51
<b>Телішко В.М.</b> МЕТОДИКА ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ КОРМОРОЗДАВАЧА	54
<b>Потапов М.В.</b> ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ЗМІШУВАЧІВ СИПКИХ КОРМІВ	57
<b>Салогуб Б.Р.</b> КЛАСИФІКАЦІЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОДРІБНЮВАЧІВ ЗЕРНА	60
<b>Сажарський В.С.</b> ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РІДКОЇ ГОДІВЛІ СВИНЕЙ	63

УДК 631:62-5.22

**ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ЗМІШУВАЧІВ СИПКИХ КОРМІВ**

Потапов М.В.

*здобувач вищої освіти СВО Магістр,  
ОПП Агроінженерія, ІТФ ДДАЕУ**Науковий керівник – Дудін В.Ю.,  
кандидат технічних наук, доцент*

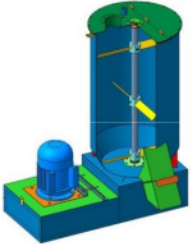
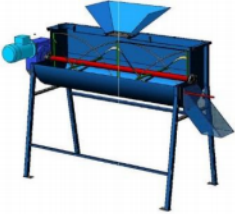

На сьогодні постає задача розробки засобів приготування комбікормів безпосередньо в господарствах. При цьому спрощується технологічне оснащення, зменшується метало- та енергоємність процесу, а також транспортні витрати. Для приготування комбікормів використовується власна сировина, що сприяє раціональному та ефективному використанню кормових ресурсів господарств та зниженню затрат кормів.

Як свідчить досвід, змішувачі безперервної дії більш продуктивні і краще відповідають умовам сучасного потокового виробництва, однак якість одержуваних комбікормів, приготовлених у змішувачах періодичної дії вище.

Порівняємо найбільш поширені типи змішувачів за основними характеристиками (табл. 1).

Крім вертикальних шнекових та горизонтальних стрічкових в малогабаритних комбікормових установках застосовують лопатеві змішувачі горизонтального [1] та вертикального компонування. Перші – в якості основних, другі – для приготування преміксів (рис 7.15, б, в). Слід зазначити, що однорідність змішування стрічкових та лопатевих змішувачів сягає 95...97 %, що вище, ніж у шнекових, а час змішування менший (до 7 хв.) проте вони більш складні за конструкцією, мають вищу енерго- та матеріалоємність, а, отже, і вартість.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики різних типів змішувачів порційного типу

Конструктивна схема	Тип	Однорідність змішування, %	Питома енергоємність, кВт/т	Об'єм змішування, м	Призначення
	Вертикальний лопатевий	90...96	3,6...5,5	0,08...0,6	приготування преміксів, БМВД
	горизонтальний спірально-стрічковий	95...97	2,25...3,25	0,25...2,5	приготування преміксів, БМВД, комбікормів
	вертикальний шнековий	85...90	0,75...1,85	0,5...4,4	приготування комбікормів

Як видно з табл. 1, найкращі показники по якості змішування мають горизонтальні змішувачі, оснащені спірально-стрічковим робочим органом, при цьому питома енергоємність процесу знаходиться на середньому рівні.



Фірма «SKIOLD» пропонує споживачам діагональні змішувачі серії UNI-MIX [2], які є різновидом шнекових змішувачів (рис. 1). За даними виробника особливістю цих змішувачів є вища однорідність змішування, в порівнянні з вертикальним шнековим та можливість введення до 6 % рідких компонентів (олія, жир). При цьому похиле розміщення шнека дозволяє дещо зменшити енергоємність процесу змішування.

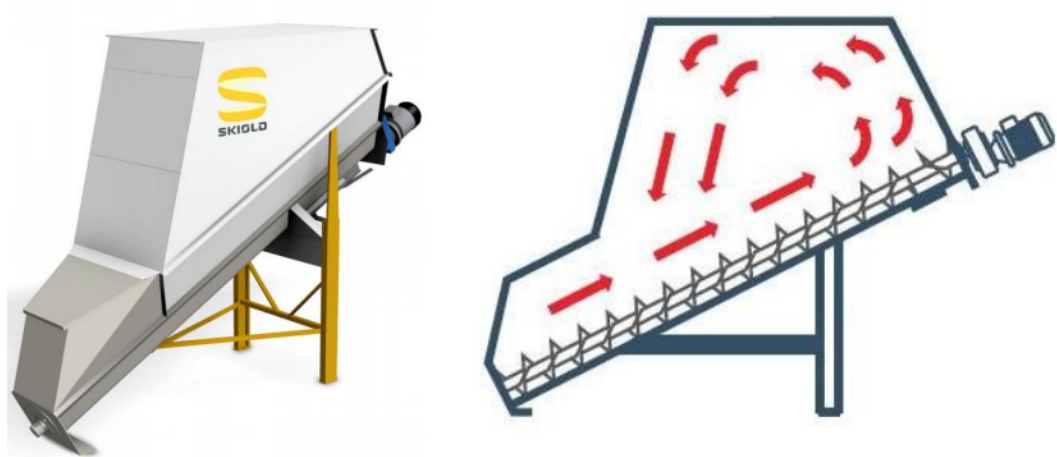


Рисунок 1 – Діагональний шнековий змішувач комбікорму

Таким чином, виробники вживають спроби вдосконалення технологічного процесу змішування сипких компонентів у напрямку створення машин, що використовують нові принципи і фактори, які суттєво впливають на процес сумішоутворення. При цьому висока якість одержуваної суміші повинна су-проводжуватися скороченням енерговитрат на процес.

#### Список використаних джерел:

1. [http://mehzavod.com.ua/Materials/%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82\\_%D0%9C%D0%9A%D0%A3.pdf](http://mehzavod.com.ua/Materials/%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82_%D0%9C%D0%9A%D0%A3.pdf)
2. [https://docs.skiold.com/share/s/xUJrvSfrQ\\_-Ki\\_TgSmVR8g](https://docs.skiold.com/share/s/xUJrvSfrQ_-Ki_TgSmVR8g)