ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
освітнього ступеня «Магістр» на тему:

Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів швидкісного змішувача сипких кормів

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІз-1-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Мясніков Олександр Олександрович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____ Садченко Роман Вікторович

Дніпро 2024

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
ІТС
(назва кафедри)
доцент
(вчене звання)
_____ Дудін В.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)
«26» грудня 2023 р.

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

Мяснікову Олександру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів швидкісного 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
«26» грудня 2023 року № 4084

2. Строк подання студентом 12.02.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд процесів та обладнання для сипких кормів, зокрема змішувачів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Теоретичне обґрунтування параметрів змішувача. 3. Програма і методика експериментальних досліджень змішувача. 4. Результати експериментальних досліджень. 5. Охорона праці. 6. Економічна оцінка розробленого змішувача. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу
1. Мета і задачі. (2 аркуші, А4). 2.Теоретичні дослідження процесу (2 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження процесу (3 аркуші, А4). 4. Охорона праці при роботі з доїльним апаратом (1 аркуш, А4). 5. Техніко-економічна оцінка (1 аркуш, А4). 6. Загальні висновки (1 аркуш, А4).

6. Консультанти окремих розділів

Розділ	П.І.Б. та посада	Підпис, дата	
		видав	прийняв
1-5	Дудін В.Ю., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата отримання завдання: 26.12.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділів кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1	Аналітичні дослідження	до 02.01.2024 р.	
2	Теоретичні дослідження	до 09.01.2024 р	
3	Експериментальні дослідження	до 18.01.2024 р.	
4	Розділ з охорони праці	до 21.01.2024 р.	
5	Техніко-економічна оцінка	до 29.01.2024 р.	
6	Оформлення демонстраційної частини	до 12.02.2024 р.	

Студент _____ Мясніков О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Дудін В.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

№ п/п	Формат	Позначення	Найменування	Кіль-кість аркушів	Номер аркуша	Приміт-ка
			Текстові документи			
1	А4		Пояснювальна записка	72		
			Демонстраційні матеріали			
2	А4		Мета і задачі досліджень.	3	2,3,4	
3	А4		Теоретичні дослідження	2	5,6,7	
4	А4		Експериментальні дослі-	3	8,9	
5	А4		Охорона праці	1	10	
6	А4		Економічна частина	1	11	
7	А4		Висновки	1	12	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	46ДР022.000.000РД		
Розробив		Мясніков			Відомість дипломної роботи	літера	аркуш 3 / аркуш 75
Перевірив		Дудін					
Т. контр						МгАІз-1-22, ДДАЕУ	
Н. контр.		Івлєв					
Затверд.		Дудін					

АНОТАЦІЯ

Мясніков О.О. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів швидкісного змішувача сипких кормів /Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

У вступній частині дипломної роботи була обґрунтована актуальність обраної теми, проведений аналіз поточного стану питання змішування сипких кормів, на основі якого були сформульовані відповідні висновки. Також визначено мету та поставлені задачі дослідження.

У другому розділі детально розглянута технологічна схема змішувача, його геометричні, кінематичні та силові параметри. Використовуючи програму та методику експериментальних досліджень, здійснена оптимізація конструктивно-режимних параметрів розробленого змішувача.

Окремий аспект досліджень був приділений аналізу конструкції з точки зору охорони праці. Використовуючи економічне обґрунтування, була проведена оцінка ефективності розробки. На заключному етапі висунуто висновки та складено список використаної літератури.

Ключові слова: сипкі корми, змішувач, лопать, спіраль, псевдозріджений стан, однорідність змішування, енергоємність.

ЗМІСТ

	Вступ	7
1	Аналіз стану питання	9
	1.1 Аналіз пристроїв для готування сухих кормів	9
	1.2 Вибір напрямку досліджень	25
	1.3 Висновки до розділу	27
2	Теоретичне обґрунтування параметрів змішувача	29
	2.1 Розробка схеми удосконалення	29
	2.2 Розрахунки потужності розробленого змішувача	33
	2.2.1 Потужність на подолання сил опору руху лопатки	33
	2.2.2 Повна потужність розробленого змішувача	37
	2.3 Визначення конструкційних параметрів барабана змішувача	39
	2.4 Висновки до розділу	43
3	Програма і методика експериментальних досліджень змішувача	45
	3.1 Постановка мети і задач експериментальних досліджень	45
	3.2 Обладнання та методика для проведення досліджень	46
	3.3 Методика кодування факторів	49
4	Результати експериментальних досліджень	51
	4.1 Дослідження питомої енергоємності змішувача	51
	4.2 Дослідження коефіцієнта неоднорідності суміші	56
	4.3 Висновки до розділу	58
5	Охорона праці	60
	5.1 Охорона праці при роботі зі змішувачем сипких кормів	60
	5.2 Розробка проекту інструкції з охорони праці при роботі зі змішувачем комбікорму	61

5.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях 63
5.4 Висновки до розділу 64
6 Економічна оцінка розробленого змішувача 65
6.1 Вихідні дані 65
6.2 Розрахунок показників економічної ефективності 66
6.3 Висновки до розділу 67
Загальні висновки 68
Бібліографія 70

ВСТУП

Змішувачі застосовуються для механічного змішування компонентів під час приготування кормів на сільськогосподарських тваринницьких підприємствах.

Результатом механічного змішування повинен з'явитися перерозподіл матеріалу, що перемішується таким чином, щоб його компоненти були рівномірно розподілені по всьому об'єму готової кормової суміші. Актуальною проблемою є підвищення продуктивності змішувачів, особливо змішувачів безперервної дії, що працюють у складі потокових технологічних ліній приготування кормів. На відміну від змішувачів періодичної дії, значимим фактором продуктивності яких є тривалість операцій завантаження, змішування та вивантаження, продуктивність змішувачів безперервної дії залежатиме від інших факторів, пов'язаних головним чином з їх конструктивними параметрами.

Для тваринницьких підприємств, що використовують власну сировину для приготування кормових сумішей, актуальним питанням є поєднання в одному агрегаті робочих органів, що подрібнюють і змішують. Використання для цього традиційного подрібнювача-змішувача кормів барабанного типу з ножовими робочими органами є досить енергоємним процесом, а шнекові робочі, що використовуються органи призначені для другого ступеня подрібнення матеріалу після ножових робочих органів.

Тому для малих та середніх сільськогосподарських підприємств такі подрібнювачі невигідно використовувати через їх низьку енергетичну ефективність. Для вирішення цієї проблеми нами розроблена серія продуктивних шнекових змішувачів для малих та середніх підприємств агропромислового комплексу, які, на відміну від традиційних барабанних подрібнювачів з ножовими робочими органами, менш енергоємні та більш універсальні.

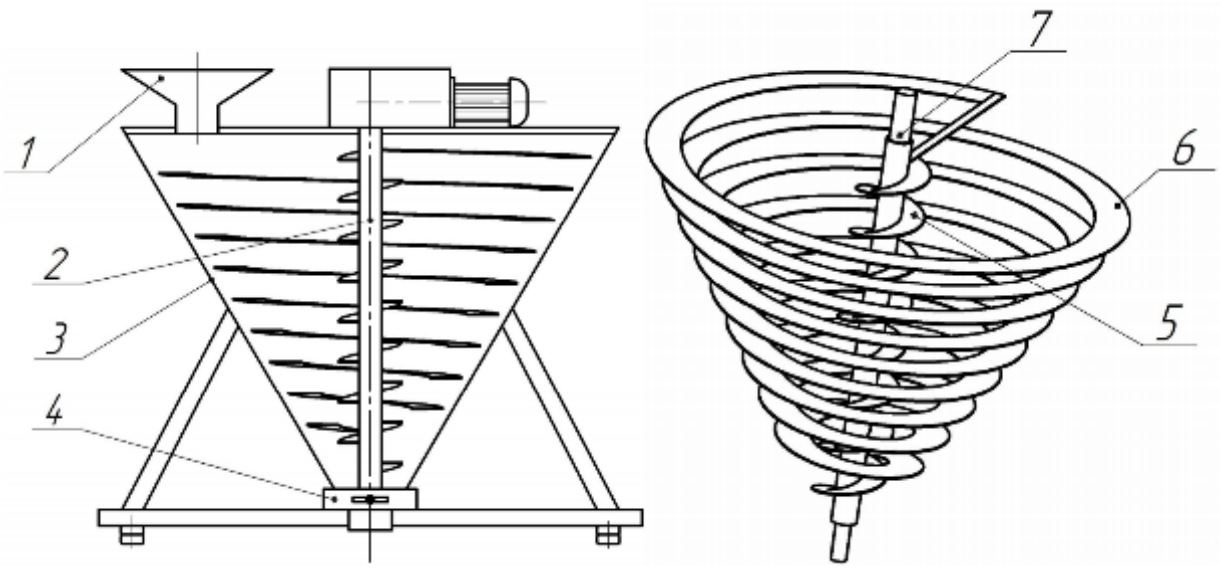
Продуктивність та якість змішування обумовлені його інтенсивністю, тобто числом рухів, що здійснюються компонентами сумішей в одиницю часу, що залежить від конструкції та напряму руху застосовуваних робочих органів. Для підвищення рівномірності подрібнення та інтенсивності перемішування матеріалу необхідно оптимізувати траєкторії та швидкості руху робочих органів, кути нахилу та заточування ріжучих кромок робочих органів, а також зазори між ріжучими кромками. Зниження енергетичних витрат на змішування матеріалу досягається зменшенням втрат енергії на опір перемішується матеріалу та переміщення робочих органів.

Двома основними напрямками підвищення продуктивності змішувачів кормів є вдосконалення конструкції їхніх робочих органів та вдосконалення приводу їх робочих органів. Ці напрями враховувалися нами під час розробки планетарних шнекових змішувачів кормів та шнекових подрібнювачів-змішувачів кормів як з вертикальним, так і з горизонтальним розташуванням шнеків.

1 Аналіз стану питання

1.1 Аналіз пристроїв для готування сухих кормів

Для перемішування твердих сипучих або порошкоподібних компонентів, що мають більшу різницю в питомій вазі і пропорціях застосовують вертикально–шнековий конусний змішувач, який дозволяє проводити змішування без руйнуючого впливу. Змішувач являє собою одношарову ємність 3 конічної форми, оснащену конічним робочим органом 2 із зовнішнім і внутрішнім шнеками і герметичними вузлами завантаження 1 і вивантаження 4 (рис. 1.2).



а б

Рисунок 1.1 – Схема вертикально–шнекового конусного змішувача: а) схема змішувача; б) робочий орган: 1 – завантажувальний патрубок; 2 – робочий орган; 3 – корпус; 4 – вивантажувальна горловина; 5 – внутрішній шнек; 6 – зовнішній шнек; 7 – вал

Конструктивно – технологічна схема змішувача–дозатора представлена на рис. 1.2. Змішувач – дозатор працює в такий спосіб. При обертанні вала шнека 5 і вала з радіальними 2 і спеціальними лопатами 4, що перебувають над

диском 3, корм перемішується лопатами 2, а корм, що просипався в зазор між диском 3 і бункером 1, попадає під дію лопаток 6 у нижній частині шнека 5. Потім шнек 5 піднімає корм нагору до спіральних лопатей 4, які зрушують корм від центру до стінок бункера 1, де відбувається перемішування з новою порцією корму, що надходить із наддискового об'єму. Нерівномірність змішування не перевищує 10% . Недоліком є можливість зависання між диском і корпусом, а також необхідність точного дотримання дозування компонентів корму.

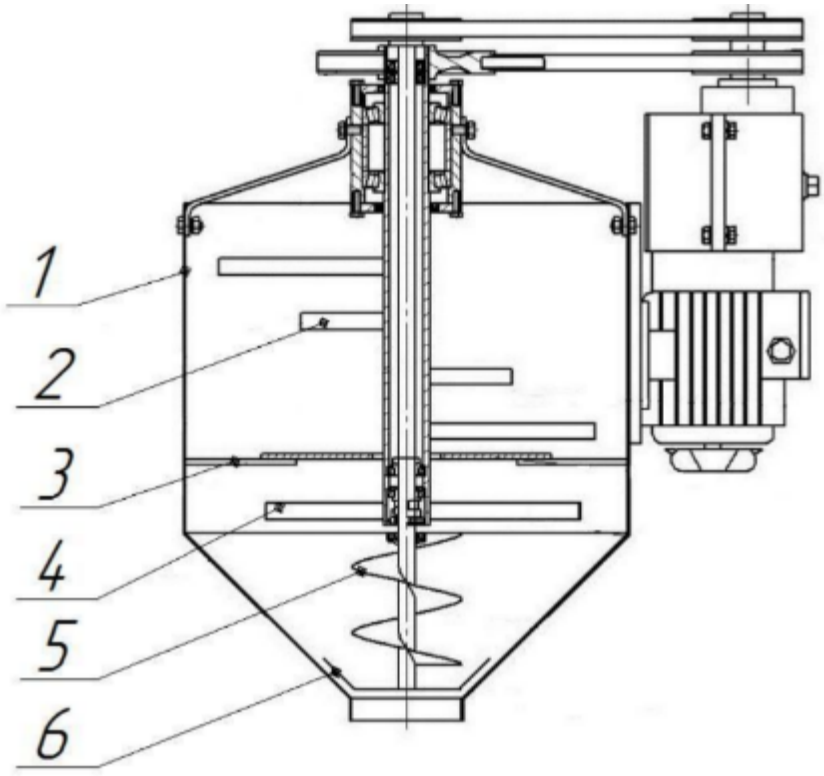


Рисунок 1.2 – Схема змішувача – дозатора: 1 – бункер; 2 – радіальна лопать; 3 – диск; 4 – спіральна лопать; 5 – шнек; 6 – лопатки

Комбінування процесів змішування і дозування сипких кормів описане в роботі [5], дозволяє підвищити ефективність готування комбікормів і досягти рівномірності змішування 91%.

На сьогодні широке поширення мають шнекові змішувачі (рис. 1.4) з горизонтальним [6] і похилим [7] розташуванням і різною кількістю змішуючих

органів, призначені для змішування всіх видів кормів, за винятком рідких. Змішування проводиться стрічковими спіралями, які не лише перемішують і пересувають матеріал, але при установці ріжучих сегментів можуть подрібнювати компоненти корму. Робочий процес у них зводиться до того, що компоненти, що завантажуються в змішувач, зазнають інтенсивному впливу обертових шнеків.

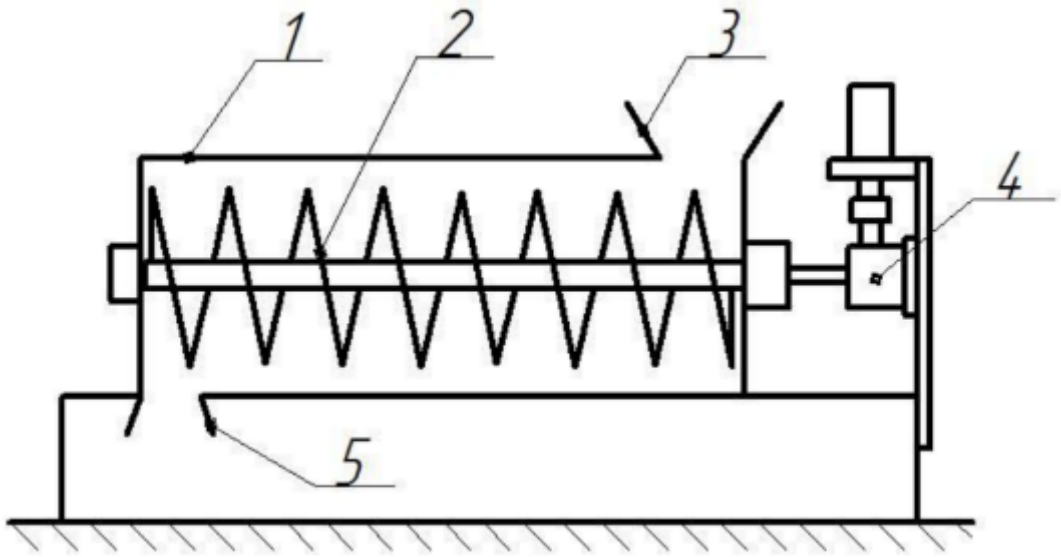


Рисунок 1.3 – Схема шнекового змішувача: 1 – бункер; 2 – шнек; 3 – завантажувальна горловина; 4 – привод; 5 – вивантажувальна горловина

Окремі шари корму здобувають різні колові швидкості, пересипаються один щодо іншого, поступово переміщаючись до вивантажувального отвору. Залежно від фізико–механічних властивостей основних компонентів, що підлягають змішуванню, робочий орган виконують по–різному. Так для готування комбікорму із сухих подрібнених зернових матеріалів і добавок необхідна на валу суцільна широка стрічка, що чергується з радіальними лопатками. Якщо ж потрібно перемішувати запарені м'яті коренеплоди із сухими концентратами і рідкими добавками, то збільшують кількість лопаток і зменшують поверхню гладкої стрічки. Недоліками шнекових змішувачів з горизонтальними і похилими робочими органами є більша тривалість змішування, більші габарити змішувача, тому що якість суміші багато в чому визначається довжиною шнека.

Велике поширення одержали змішувачі з лопатевими робочими органами. Такі змішувачі найбільш універсальні, призначені для змішування рідких, сухих і зволожених кормових мас. Принципова схема лопатевого змішувача представлена на рис. 1.5. Він складається з бункера 1, у якому встановлені вал 2 (або вали) із закріпленими на ньому лопатями. Вивантаження готової суміші здійснюється через патрубок 3, обладнаний заслінкою. Процес змішування в таких змішувачах можна спрощено представити як багаторазову циркуляцію компонентів, що змішуються, від однієї торцевої стінки до іншої під дією лопатей.

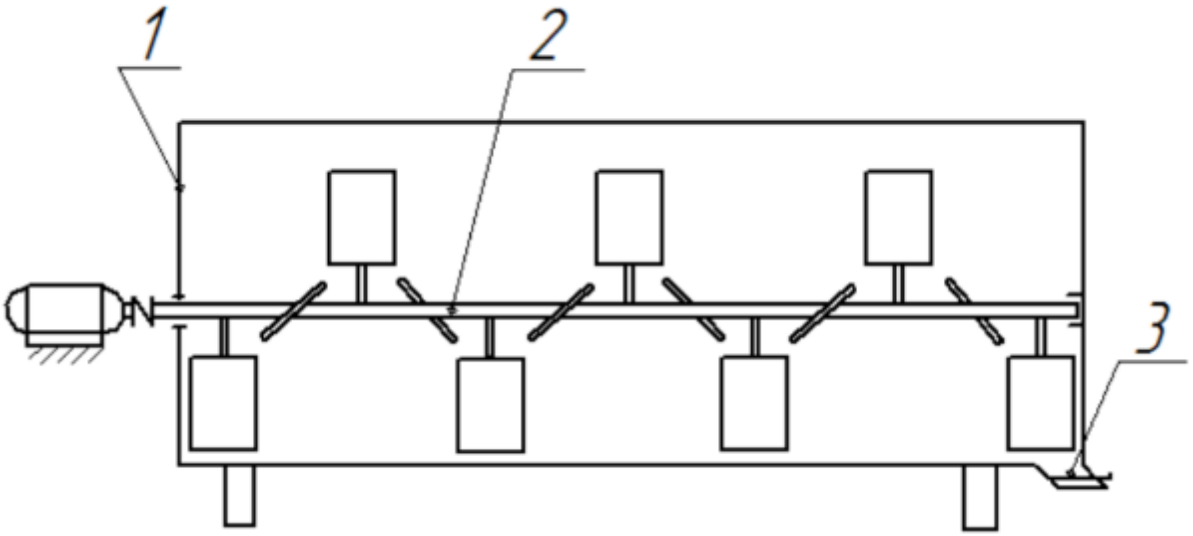


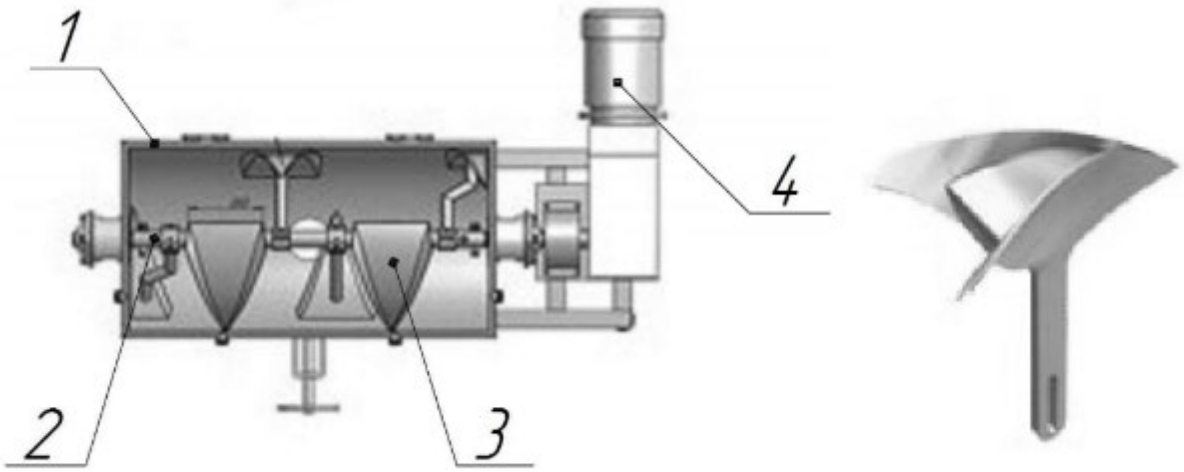
Рисунок 1.4 – Схема лопатевого змішувача кормів: 1– бункер; 2 – лопатева мішалка; 3 – вивантажувальний патрубок

Зазвичай лопаті виконують у вигляді плоских пластин і розташовують по гвинтовій лінії щодо осі обертання вала. У деяких випадках лопаті виконують опуклими назустріч потоку і роз’ємними. Деякі змішувальні елементи виконують із пружного матеріалу, причому кінці їх з'єднані між собою ділянками опуклої конічної поверхні, яка звужується по напрямку обертання вала.

Є лопатеві змішувачі, у яких лопаті мають можливість регулювання просторового положення. Для цих цілей використовують стержень у вигляді рейки, що має нарізку, взаємодіючу із зубчастими елементами стійок лопатей,

з можливістю зворотно–поступального руху. Іноді механізм зміни кута повороту лопатки виконаний у вигляді штанги з упорами, взаємодіючими з торцями осей лопатей. Змінюючи кути установки лопаток і їх конструкцію, досягають утворення різних контурів руху матеріалу усередині бункера змішувача та упорядкованого переміщення часток матеріалу. Для змішування сухих розсипних кормів застосовуються наступні марки лопатевих змішувачів кормів КС–Ф–2,0М, С–30, С–7, З–12, СГК–1, МСН, VKL.

Для приготування сипких компонентів з введенням рідких кормових добавок використовують змішувачі СГ–1, СГ–2, СГК–1, СГК–2,5, МСН, типу НРВ, серії РМ і VKL. До основних переваг змішувачів с лопатевими робочими органами можна віднести простоту виготовлення, високу продуктивність, широкий діапазон фізико–механічних властивостей змішуваних матеріалів. Недоліками їх є необхідність точного дозування і швидке зношування робочих органів. Плужкові змішувачі дозволяють одноразово змішувати більші обєми сухих компонентів, які при внесенні рідкої фази піддаються налипанню на робочі органі (рис. 1.6).



а б

Рисунок 1.5 – Плужковий змішувач: а) вид зверху; б) плужок: 1–корпус; 2–вал; 3–плужок; 4–привод; 5–шток

Плужки повинні бути регульовані по довжині штока, злегка різноспрямовані від країв до центру так, щоб при змішуванні вони обертали продукт від центру до країв, а при вивантаженні – від країв до центру. По краях валів встановлено вузькі лопатки – штоки, що очищають торцеві стінки.

Із метою зниження енергоємності і підвищення якості змішування в запропоновано змішувач з корпусом 4, у якому розміщений порожній вал 3 з лопатками 2 (рис. 1.6). Осі лопаток мають механізм 1 для зміни кута їх повороту і пристрій для поздовжнього переміщення штанги 7 із трипозиційним регулятором 6. Для змішування включається привод 5 порожнього вала 3 з лопатками 2. Кут установки лопаток 2 забезпечується переміщенням штанги 7 уздовж осі вала 3. Недоліком змішувача є складність конструкції.

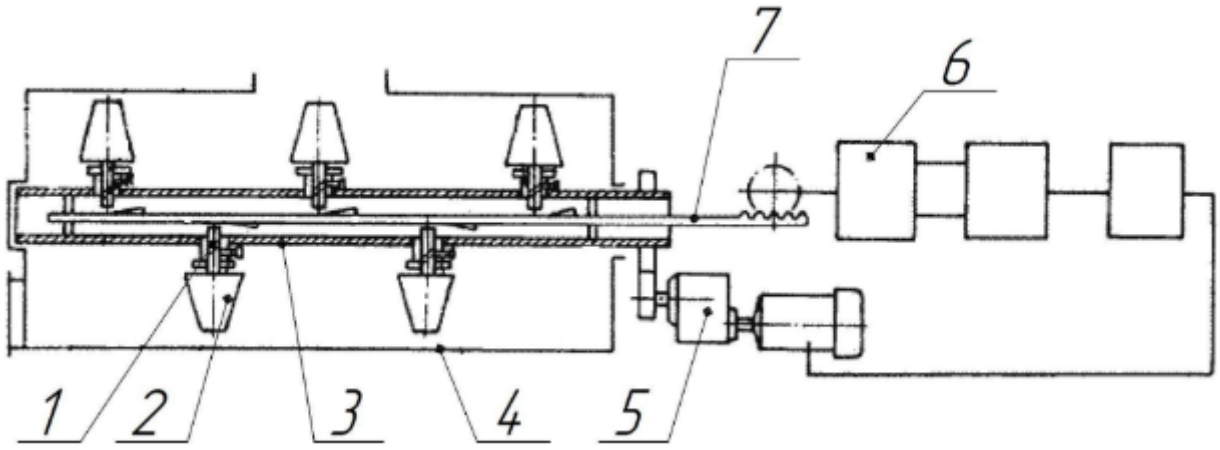


Рисунок 1.6 – Лопатевий змішувач: 1 – механізм зміни кута повороту; 2 – лопатка; 3 – вал; 4 – корпус; 5 – привод вала; 6 – привод штанги; 7 – штанга

Для підвищення ефективності змішування порошкоподібних і рідких компонентів запропонований змішувач, який містить корпус 3 з ротором 6 у вигляді «білячого колеса», на поздовжніх лопатях 2 якого закріплені лопаті 5 (рис. 1.7).

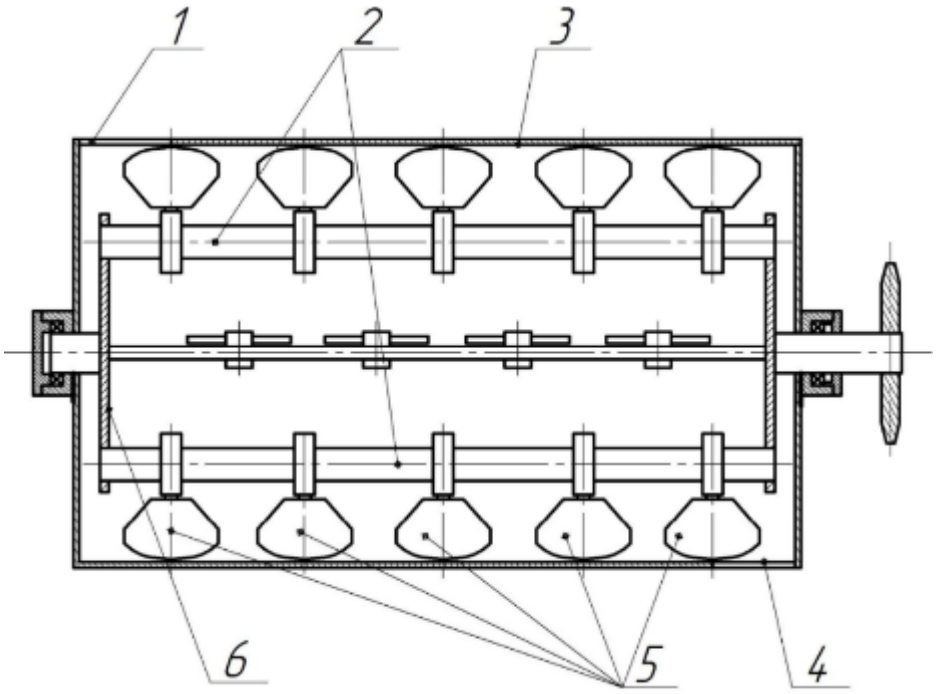


Рисунок 1.7 – Лопатевий змішувач: 1 – завантажувальне вікно; 2 – лопать; 3 – корпус; 4 – вивантажувальне вікно; 5 – лопатки; 6 – ротор

Для змішування через отвір 1 у корпус 3 завантажують компоненти, які попадають під дію лопаток 5 і лопатей 2. При змішуванні порошкоподібних компонентів лопатки встановлюють у шаховому порядку, причому одна група лопаток переміщає компоненти до вихідного отвору 4, а інша від нього. Комбінація обертового руху компонентів від дії лопатей 2 і осьового переміщення від лопаток 5 забезпечує інтенсивний вплив на суміш. Недоліком змішувача є нерівномірне навантаження на вал при неповному завантаженні корпусу.

Відомий лопатевої змішувач (рис. 1.8), що має камеру 3, усередині якої встановлений вал 4, на якому під кутом до осі вала 4 закріплені за допомогою хомутів вигнуті лопатки 2 з лопатями 1. Таке кріплення дозволяє переміщати лопатки 2 і лопаті 1, як уздовж осі вала 4, так і навколо осі лопатки 2. Конструкція змішувача забезпечує кращий захват компонентів, що змішуються, і виключає ушкодження змішувальної камери.

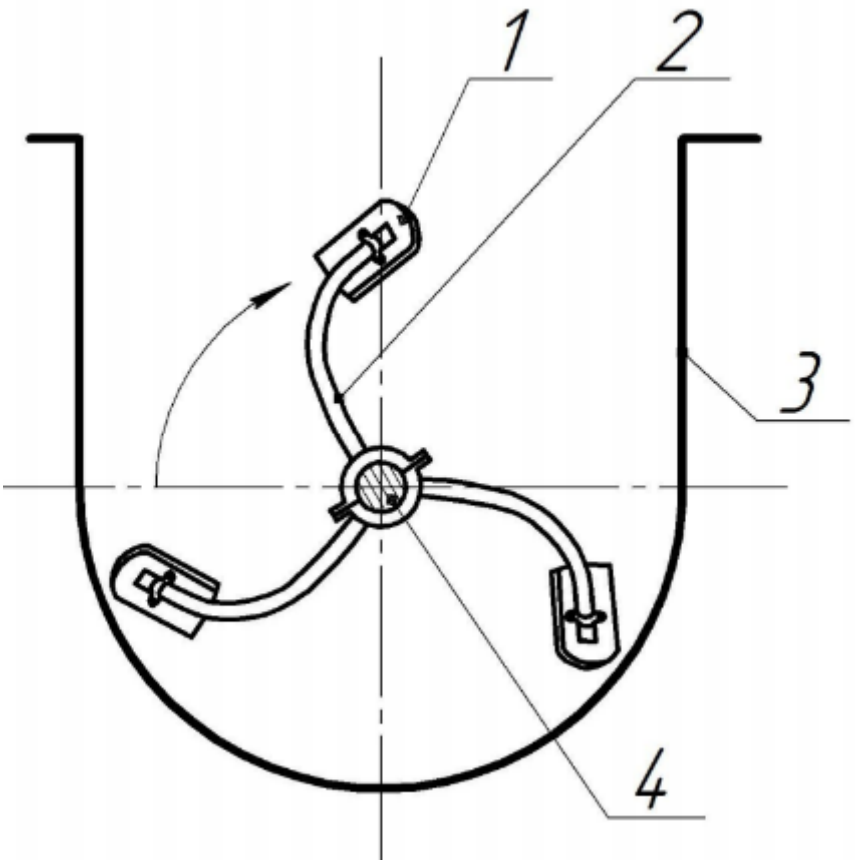


Рисунок 1.8 – Лопатевий змішувач:1 – лопать; 2 – лопатка; 3 – змішувальна камера; 4 – вал

Лопатевої змішувач (рис. 1.9) призначений для змішування сипучих матеріалів і грузлих рідин і дозволяє знизити нерівномірність навантаження вала. Змішувач містить, корпус 1, вал 3 з лопатями 2. При однаковій довжині лопатей 2 їх ширина зменшується в міру віддалення від вала 3 пропорційно плечу їх установки. Компоненти подаються в корпус 1 і під дією лопат інтенсивно перемішуються по всій глибині. Недоліком описаного лопатевого змішувача є те, що він ефективно працює лише при повному заповненні корпусу 1. Загальним недоліком тихохідних лопатевих і плужкових змішувачів є тривалий час приготування порції корму.

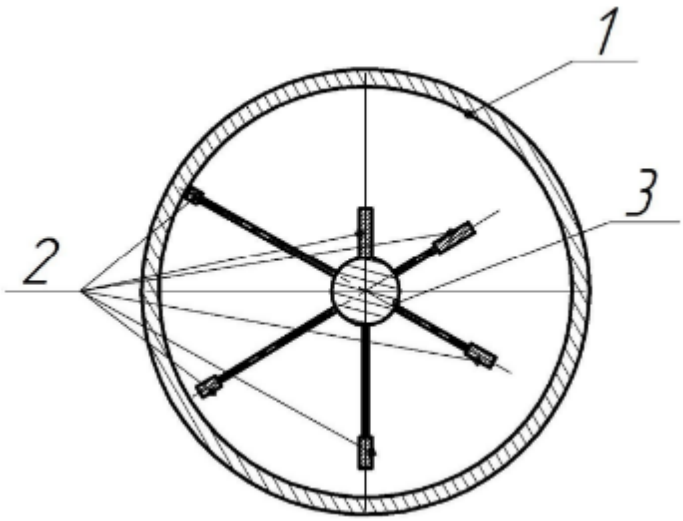


Рисунок 1.9 – Лопатевий змішувач: 1 – корпус; 2 – лопаті; 3 – вал

Горизонтальні змішувачі Skiold H періодичні, призначені для змішування сипких компонентів комбікормів або гранульованої сировини. Складаються з корпуса, робочого органа у вигляді відкритого подвійного шнека, привода і пульта керування. Корпус оснащений оглядовим вікном, через яке можна вручну додавати мінеральні добавки. Для введення рідких добавок на краю корпуса встановлена форсунка. Мають модульну конструкцію, яка при необхідності дозволяє додатково оснащувати змішувачі накопичувальним бункером з донним випуском і розвантажувальним бункером з вивантажувальним шнеком.

Протитокові змішувачі серії HOM і HOMI призначені для змішування вихідних компонентів комбікормів. Складаються з бункера, робочого органа у вигляді відкритого подвійного шнека, системи вивантаження, привода і системи керування, обладнані донними засувками з електропневматичним приводом. Можливе дозування рідких добавок.

Спіральні змішувачі серії RM призначені для змішування сипких компонентів комбікормів. Можливе внесення до 6% тваринного жиру (внесення меляси не допускається). Складаються з бункера, змішувального вала спірального

типу, випускних ринв, привода і пульта керування. При установці двох бункерів, над і під змішувачем, можуть працювати в автоматичному режимі і готувати до 20 порцій на годину.

Змішувач комбікормів порціонний горизонтальний СК–3,0 (рис. 1.10) призначений для отримання однорідної суміші із сухих подрібнених компонентів комбікорму.

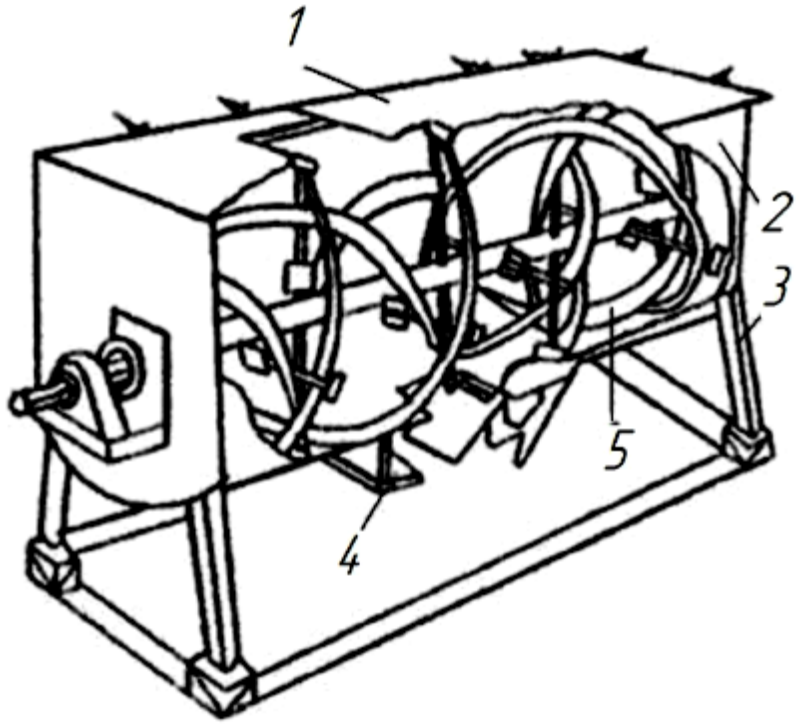


Рисунок 1.10 – Змішувач СК – 3,0: 1 – кришка; 2 – корпус; 3 – рама; 4 – стрічковий шнек; 5 – розвантажувальне вікно

Включає робочий бункер з розташованим усередині нього активним робочим органом комбінованого шнеково–лопатевого типу, вивантажувальне вікно з електро-шибером, електродвигун з редуктором для привода активного робочого органу. Змішувач СК–3,0 має суттєво меншу питому металоємність і питому енергоємність. При цьому забезпечується висока однорідність змішування – 95%. Робочі органі забезпечують повне саморозвантаження змішувача

за короткий проміжок часу. До недоліків даного змішувача можна віднести значний час змішування і необхідність вертикального переміщення компонентів суміші при змішуванні, що збільшує питомі витрати енергії.

Одновальний змішувач – ферментер з комбінованими робочими органами призначений для отримання ферментованого корму. Він складається з бункера з робочим органом, приводом вивантажувального шнека із заслінкою і системи підтримки температури. До валу 1 робочого органу прикріплені зовнішній 3 і внутрішній 2 стрічкові шнеки і скребки 4 у вигляді витка спіралі (рис. 1.11).

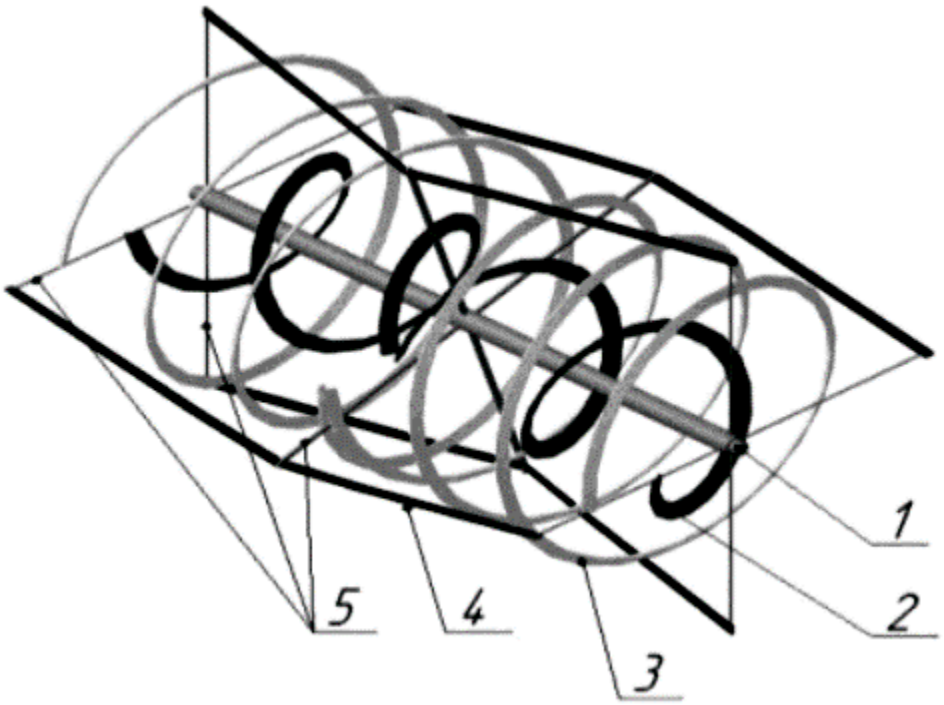


Рисунок 1.11 – Схема робочого органу змішувача – ферментера: 1 – вал; 2 – внутрішній шнек; 3 – зовнішній шнек; 4 – скребок; 5 – стержень

Витки шнеків виконані під кутом, меншим кута природнього скосу матеріалу. До недоліків можна віднести низьку продуктивність, пов'язану із тривалістю готування порції корму.

Змішувач комбікормів порційно–безперервної дії СК–15Н (рис. 1.12) призначений для приготування однорідної суміші сухих подрібнених рослинних і зернових сільськогосподарських матеріалів при виробництві комбікормових і

ін. сумішей і рідких компонентів. Конструкцією передбачена можливість швидкої перебудови роботи змішувача в режим періодичної або безперервної дії. Містить у собі привод 1, що передає обертання через шестірні 2 на встановлені в корпус 4 вали 5 активних робочих органів з оригінальною конструкцією лопаток 6. При переведенні змішувача в безперервний режим корпус розділяється перегородкою 8 на дві частини з одним валом у кожній. Вивантаження корму проводиться через вивантажувальне вікно 9. При необхідності додатково встановлюється на тензодатчики і працює в режимі дозування. За рахунок оптимального режиму роботи і оригінальних робочих органів при середній металло– і енергоємності досягається більш висока однорідність змішування, забезпечується можливість роботи як у періодичному, так і безперервному режимах, а також у режимі дозування. До недоліків можна віднести складність конструкції змішувача.

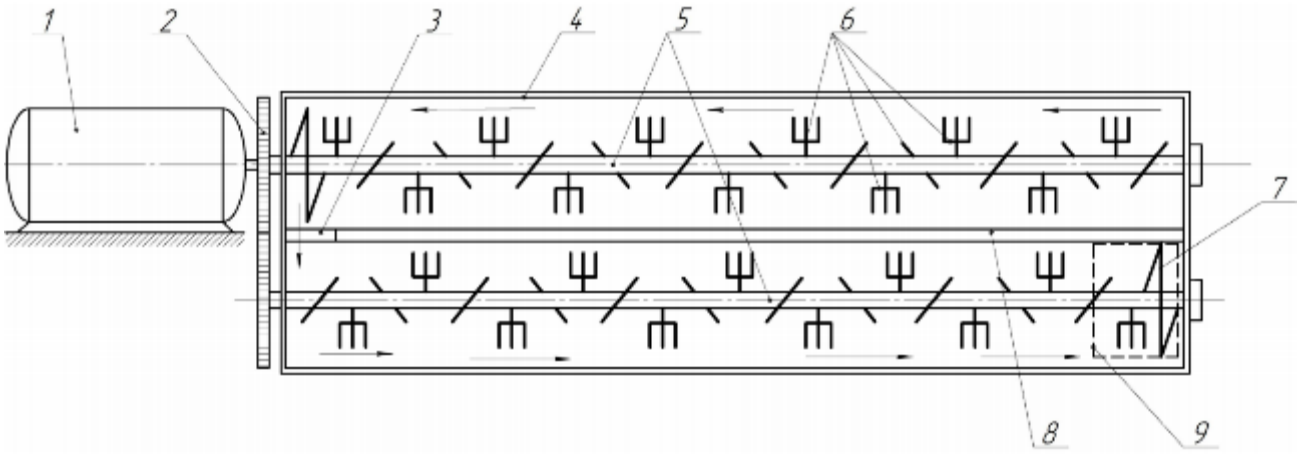


Рисунок 1.12 – Схема змішувача СК–15Н: 1 – привод; 2 – шестірні; 3 – перевантажувальне вікно; 4 – корпус; 5– вали; 6 – вильчата лопатка; 7 – відбійний виток шнека; 8 – знімна перегородка; 9 – вивантажувальне вікно

Шнековий змішувач безперервної дії складається з корпуса 3, у якім розташований шнек 7 (рис. 1.13). Між витками шнека 7 на стержнях 2, на висоті

0,25, 0,5, 0,75, 1 метра від основної навивки, розміщені елементи стрічкової спіралі 4. Кожний елемент стрічкової спіралі має свій привод, що дозволяє їм повертатися навколо своєї осі на кут від 0 до 180°.

Залежно від физико – механічних властивостей, що змішуються матеріалів і вимог до якості суміші елементи спирали встановлюються під необхідним кутом, що дозволяє змінити час змішування. Недоліком шнекового змішувача є складність конструкції.

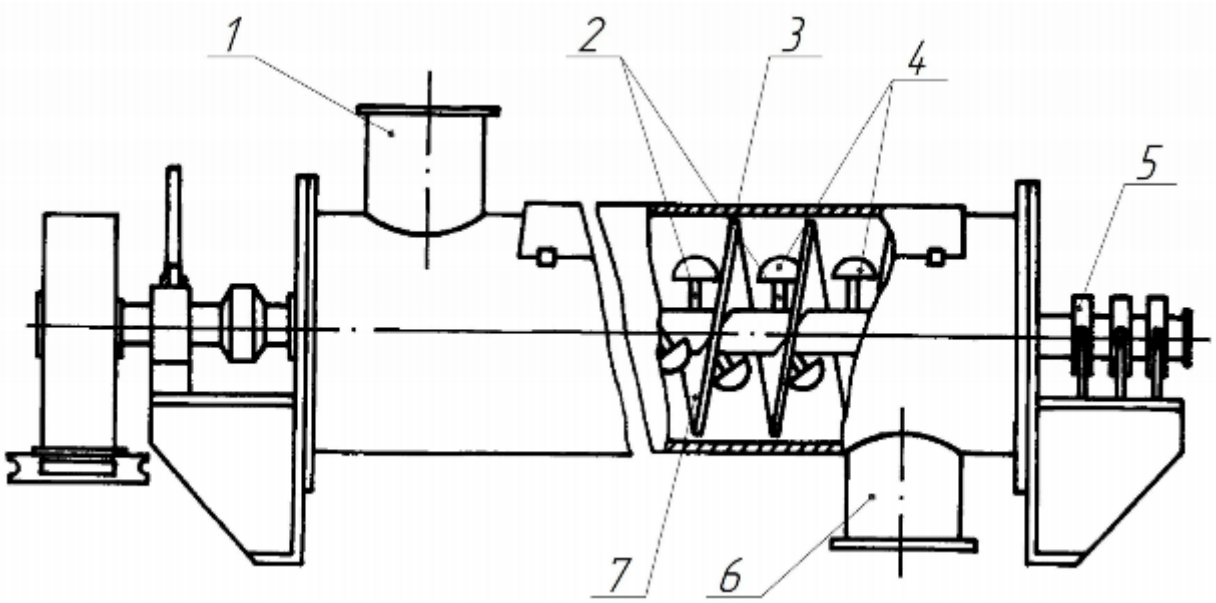


Рисунок 1.14 – Шнековий змішувач: 1 – завантажувальний патрубок; 2 – стержні; 3 – корпус; 4 – елементи стрічкової спіралі; 5 – привод елементів; 6 – розвантажувальний патрубок; 7 – шнек; 8 – привод шнека.

Для змішування сипких і в’язких матеріалів запропонована конструкція змішувача, що містить розміщені в корпусі 1 змішувальні гвинтові робочі органі із дволопатевими 2 і чотирилопатевими 3 елементами (рис. 1.14).

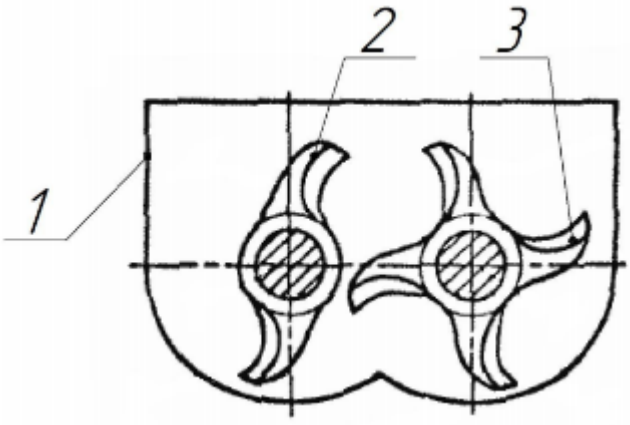


Рисунок 1.14 – Схема лопатевого змішувача: 1 – корпус; 2 – дволопатеві елементи; 3 – чотирилопатеві елементи

Змішувальні елементи виконані почерговою лівої і правою навивкою уздовж робочого органу. При роботі компоненти через завантажувальний отвір надходять на робочі органі. Дволопатеві 2 і чотирилопатеві 3 елементи захоплюють компоненти, інтенсивно їх перетирають і транспортують до вивантажувального вікна. Недоліком змішувача є перетирання матеріалу і пов'язані із цим підвищені витрати енергії.

Змішувач (рис. 1.15) з розташованими в нижній частині корпусу 3 двома шнеко-лопатевими валами 2 і 9 з почерговими шнековими 4 і лопатевими 5 ділянками, розташованими на валах таким чином, що лопатеві ділянки перебувають напроти шнекових ділянок. Із внутрішньої сторони кришки 7 розташовані поворотні дефлектори 6.

Корм переміщається уздовж шнекової ділянки 4 до лопатевого, де під дією лопат 5 викидається нагору по поверхні дугоподібної кришки 7 до дефлектора 6, ударяється об нього і падає на корм шнекової ділянки другого робочого органу і перемішується з ним. Процес поступально–поперечного руху корму в змішувальній камері триває до потрапляння його в зону вивантажувального патрубка. Якість змішування встановлюють положенням дефлекторів. Недоліком змішувача є високі питомі витрати енергії на процес змішування, обумовлені високою частотою обертання робочих органів.

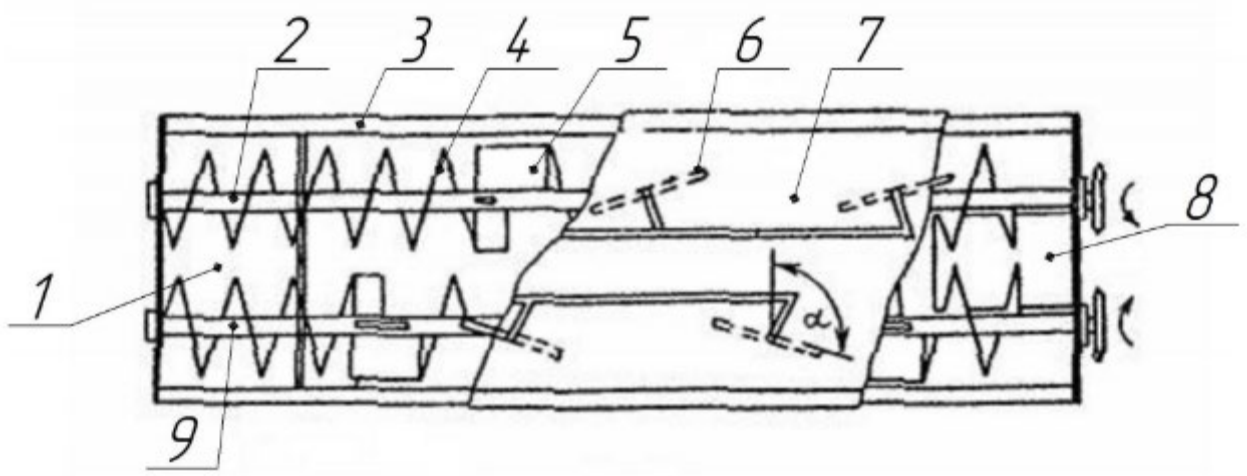


Рисунок 1.15 – Схема шнеко-лопатевого змішувача: 1 – завантажувальна горловина; 2,9 – вали; 3 – корпус; 4 – шнекова ділянка; 5 – лопатева ділянка; 6 – дефлектор; 7 – кришка; 8 – вивантажувальний патрубок

Для виключення пресування кормової маси при її розворотах відомий пристрій, що складається з бункера 2 (рис. 1.16), із завантажувальним вікном і козирком 3, під яким розміщений кожух 1 із двома проти-транспортуючими шнеками 5 з перекидаючими лопатками 6 на кінцях.

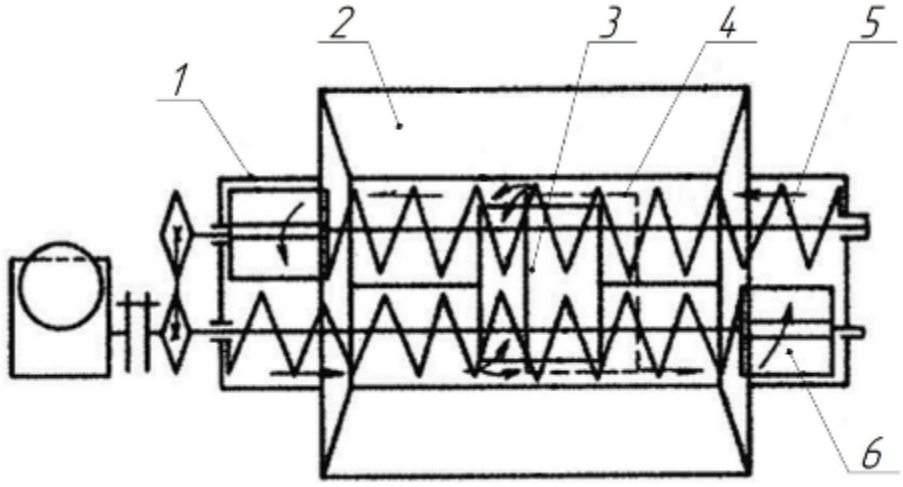


Рисунок 1.16 – Схема шнекового дозатора: 1 – кожух; 2 – бункер; 3 – козирок; 4 вивантажувальне вікно; 5 – шнек; 6 – перекидаючі лопатки

Поданий з бункера 2 корм розділяється козирком 3 на дві частини. Шнеки 5 захоплюють корм із завантажувального вікна і направляють його в протилежні сторони до торцевих стінок, де лопатками 6 корм перекидається з одного робочого органу на іншій без пресування, і далі матеріал транспортується у зворотному напрямку до вивантажувального вікна 4. Така конструкція шнеків дозволяє виключити ущільнення корму біля торцевих стінок.

Змішувачі із планетарними робочими органами застосовують для порошкоподібних матеріалів і дуже густих рідин з динамічною в'язкістю до 200 Па·с. Схема мішалки планетарного типу представлено на рис. 1.17, а.

При обертанні водила 2 відбувається також обертання валу 4 з насадженими на нього лопатами 5, які роблять складний рух, обертаючись навколо осі валу 4 і разом з ним навколо водила 2. Кожна точка лопаті описує при цьому складну криву. Швидкість точки безупинно міняється по напрямку і величині, завдяки чому в планетарних мішалках виникає інтенсивний турбулентний рух. У якості робочого органу часто застосовують шнек.

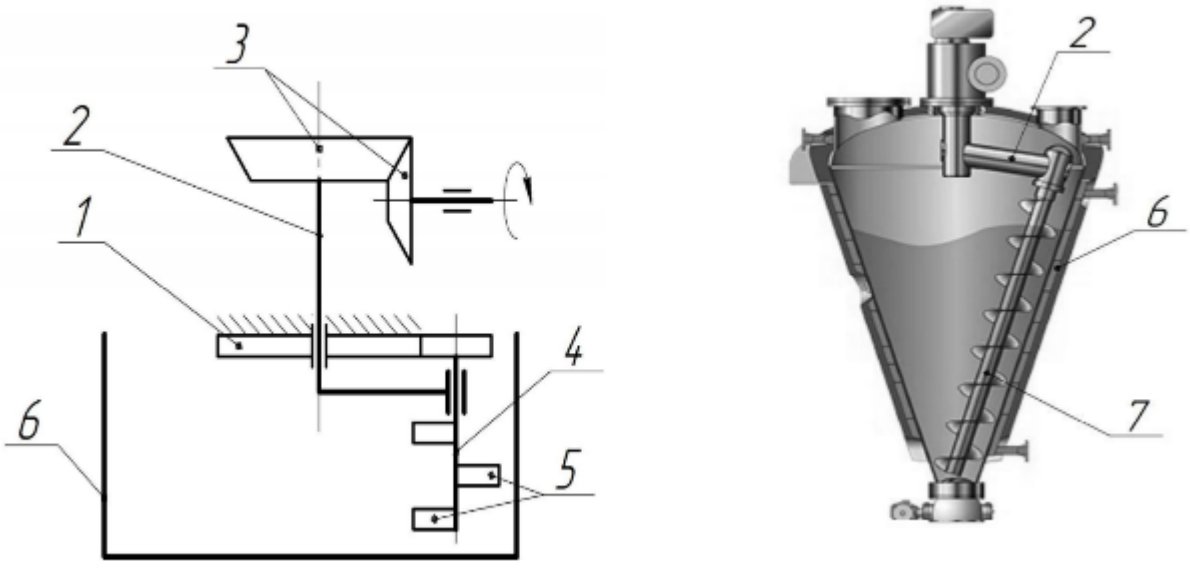


Рисунок 1.18 – Схема планетарного змішувача: а) лопатева мішалка; б) шнекова мішалка; 1, 3 – шестірні; 2 – водило; 4 – вал мішалки; 5 – лопаті; 6 – бункер; 7 – шнек.

При змішуванні шнек обертається навколо своєї осі і одночасно навколо осі бункера. Матеріал, що змішується, шнеком піднімається нагору і розкидається відцентровою силою по поверхні бункера та під дією власної ваги опускається вниз, у результаті чого відбувається інтенсивне перемішування матеріалу. Така конструкція змішувача виключає зависання матеріалу при розвантаженні.

1.2 Вибір напрямку досліджень

На підставі інформації, наведеної в п. 1.2, нами було прийнято рішення про дослідження напрямку вдосконалювання швидкохідного змішувача, в основу конструкції якого закладена ідея псевдозрідження суміші. Процес псевдозрідження залежить від швидкості обертання ротора мішалки, її геометричних розмірів і форми, від висоти шару матеріалу над лопатями і фізико-механічних властивостей, компонентів. Перехід сипучого матеріалу в псевдозріджений стан проходить через ряд проміжних етапів, що відрізняються формою поверхні шару і характером циркуляції матеріалу.

На рис. 1.18 схематично відбиті проміжні стани сипкого матеріалу при зростанні швидкості обертання вертикального валу. Лопаті на валу при цьому мають прямокутну форму і установлені щодо горизонтальної площини під кутом 45º.

При малих швидкостях обертання лопатей вертикального валу (колова швидкість на краю лопаті υ_0 <1 м/с) матеріал починає ущільнюватися і висота його шару *H* у барабані зменшується (рис. 1.18, а). Коли величина колової швидкості досягає величини υ_0 =1...2 м/с, частки матеріалу в шарі починають вібрувати, триває ущільнення їх між собою з утворенням тріщин у загальній масі матеріалу (рис. 1.18, б). При υ_0 = 2...2,5 м/с увесь шар матеріалу починає повільно рухатися в барабані, а окремі частки перемінюються по концентричних

колам (рис. 1.18, в). Подальше збільшення швидкості до $\upsilon_0 = 2{,}5…3{,}5$ м/с приводить до деякого розширення шару, який спучується спочатку лише навколо валу, а потім у повному об'ємі барабана (рис. 1.18, г, д).

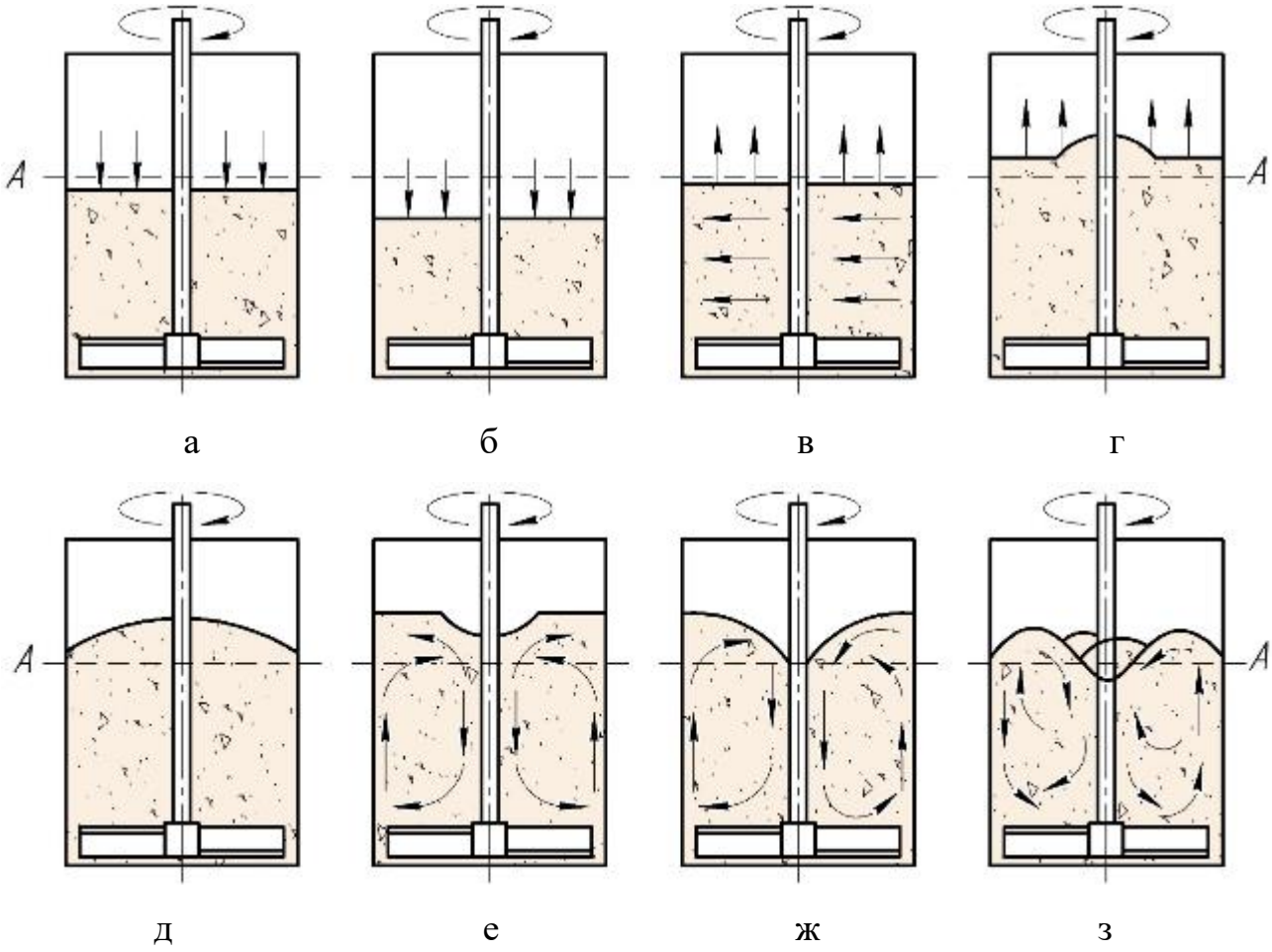


Рисунок 1.18 - Стан сипкого матеріалу при впливі на нього обертової лопатевої мішалки: А - вихідне положення вільного рівня засипання матеріалу в змішувач

При $\upsilon_0 = \div 4...5$ м/с в об'ємі часток близько вертикального вала починає утворюватися лійка, матеріал починає циркулювати усередині корпуса барабана змішувача: нижні шари суміші піднімаються уздовж стінок барабана, у верхній частині шару частки матеріалу направляються до осі обертання лопати вертикального валу по спіральних траєкторіях і потім зливаються в центральну

лійку (рис. 1.18, е). При υ_0 = 5...8 м/с циркуляція матеріалу усередині барабана змішувача стає дуже інтенсивною (рис. 1.18, ж), на поверхні матеріалу з'являються великі хвилі, об’єм його збільшується на 10-15% і, в остаточному підсумку, матеріал переходить у псевдозріджений стан (рис. 1.18, з).

Експериментально встановлено, що чим вище висота шару матеріалу над лопатями вертикального вала, тим більше повинна бути колова швидкість лопатей валу для здійснення псевдозрідження матеріалу в барабані змішувача. Так при використанні в якості робочого органу прямокутної лопаті з кутом атаки, гранична висота шару над лопаттю для сипких матеріалів визначається наступним співвідношенням:

$$\frac{H}{b} \approx 6, \qquad (1.2)$$

де b – висота лопаті.

При величинах υ_0 , відповідних до початку процесу псевдозрідження, циркуляція матеріалу в барабані протікає в загальному об’ємі над лопатями (рис. 1.18, д, е), а при подальшому збільшенні υ_0 в циркуляцію затягуються шари, що лежать за цим об’ємом (рис. 1.18, ж, з). У такому стані бурхливого «кипіння» циркуляція матеріалу усередині барабана змішувача поширюється на значно більший об’єм, так, наприклад, можна псевдозрідити лопаттю шар матеріалу висотою, в 2 рази перевищуючим її довжину. Але з погляду економії енерговитрат вигідно використовувати більше одного ряду лопат на вертикальному валу.

1.3 Висновки до розділу

1. На підставі проведеного аналізу сучасних конструкцій лопатевих змішувачів примусової дії для отримання сухих кормових сумішей встановлено, що одним із перспективних напрямків є високошвидкісний режим змішування, що забезпечує псевдозрідження суміші;

2. Перспективним напрямком в удосконалюванні конструкцій змішувачів сухих сипких кормів є створення швидкохідного змішувача періодичної дії з нерухомим циліндричним корпусом і одним вертикально розташованими лопатевим робочим органом, що забезпечує створення псевдозрідженого шару корму, а це дозволить скоротити час отримання якісної суміші зі зниженням питомих витрат енергії на процес змішування.

В зв'язку зі зробленими висновками, визначено **мету роботи -** підвищення якості готового продукту і зниження енергоємності процесу змішування сипких кормів шляхом створення псевдозрідженого шару з додатковими циркуляційними потоками руху часток у швидкохідному лопатевому змішувачі.

2 Теоретичне обґрунтування параметрів змішувача

2.1 Розробка схеми удосконалення

Аналіз конструкційно-технологічних параметрів лопатевих змішувачів примусової дії показав, що оптимізація процесу змішування сипких кормів, в основному, стосується конструкції змішувальних пристроїв і різних схем їх застосування. З метою підвищення ефективності процесу змішування сипких компонентів і, у першу чергу, зменшення енергоємності та підвищення однорідності одержуваної суміші пропонується конструкція спірально-лопатевого змішувача примусової дії з вертикальним розташуванням лопатевого вала. Зміна конструкції змішувача була заснована на наступному:

– створення «киплячого шару», тобто псевдозрідженого стану матеріалу;

– створення додаткових циркуляційних потоків руху компонентів суміші у вертикальному напрямку (уздовж корпуса змішувача);

– видалення матеріалу із застійних зон змішувача.

При цьому підвищення загальної ефективності процесу змішування складається із трьох факторів (рис. 2.1):

– механічного впливу на компоненти суміші високошвидкісним вертикальним валом 1 з лопатями 2;

– направленого руху компонентів суміші за рахунок динамічного збурювання, створюваного вертикальним валом 1;

– кількості і геометричних параметрів гвинтових поверхонь лопатей барабана 4, спірально розташованих на його внутрішній поверхні.

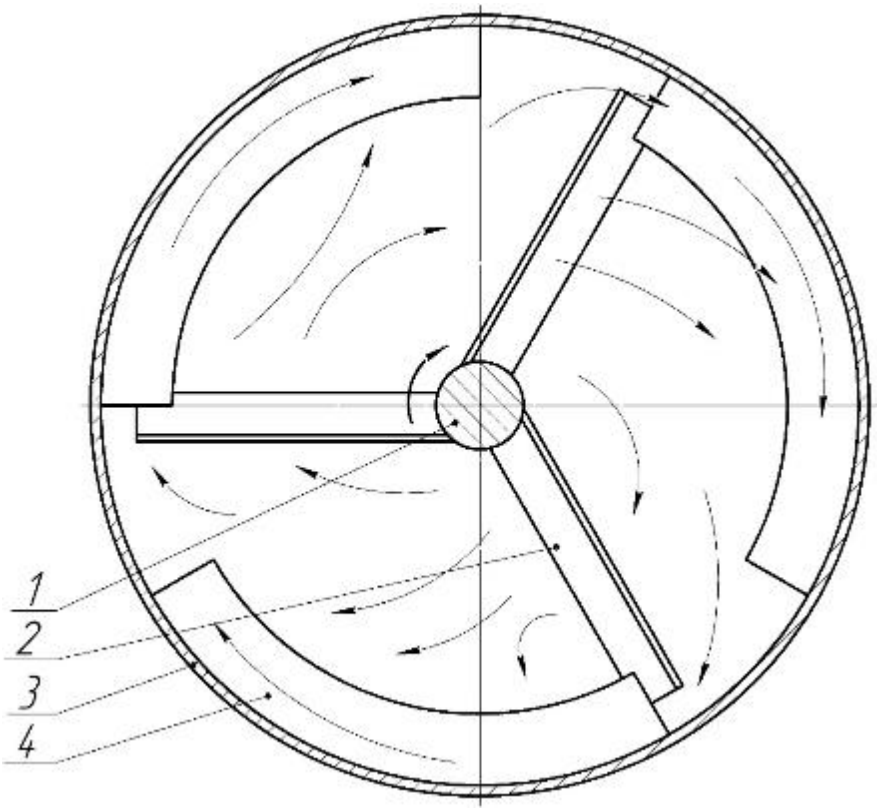


Рисунок 2.1 – Траєкторія руху часток матеріалу при механічному впливі швидкісного вертикального вала і спіральних поверхонь барабана

Змішувач (рис. 2.2) для перемішування сипких кормів складається з циліндричного барабана 1, для вивантаження суміші в нижній частині якого є люк 8. Усередині циліндричного барабана 1 консольно встановлений вертикальний вал 3, який закріплено в підшипниковому вузлі нерухомої кришки 6. На валу, у кожному з рядів, установлюються по три лопаті 4, повернених відносно один одної на 120º. При цьому сусідні лопаті кожного ряду повернені відносно одна одної на 60° (рис. 2.2, розріз А-А). Форма торців лопатей нижнього ряду вертикального вала аналогічна формі днища барабана змішувача, а лопаті 5 останнього (верхнього) ряду мають зворотний кут установки стосовно лопатей нижніх рядів. На внутрішній стінці змішувального барабана 1 жорстко закріплені гвинтові поверхні спіралі барабана 2 (рис. 2.2). Вони виконані у вигляді тризахідної гвинтової спіралі з розривами в площинах обертання лопаток.

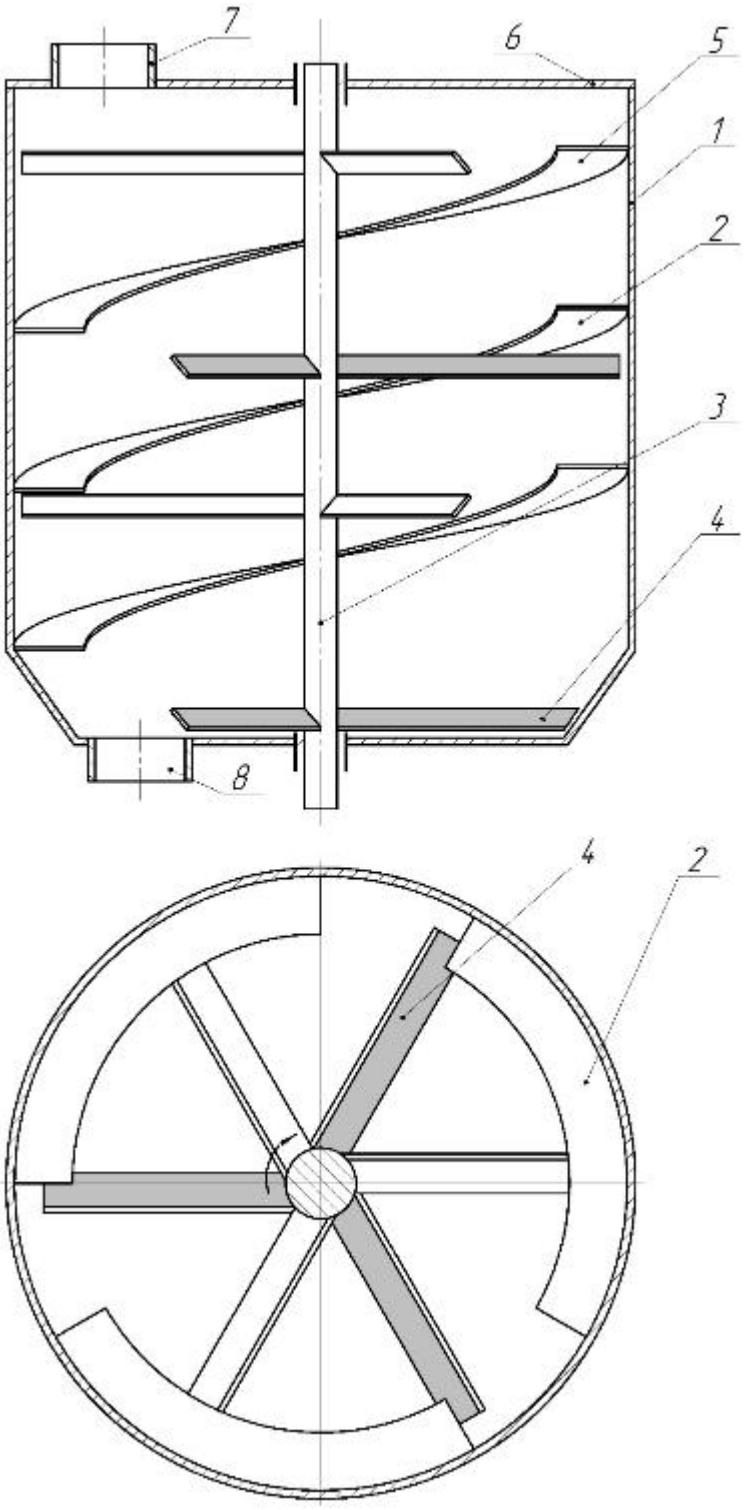


Рисунок 2.2 – Спірально-лопатевий змішувач примусової дії для сипких кормів: 1 – барабан; 2 – гвинтові поверхні спіралі барабана; 3 – вертикальний вал; 4 – лопаті вертикального вала; 5 – верхній ряд лопатей вертикального вала; 6 – нерухома кришка; 7 – завантажувальний патрубок; 8 – розвантажувальний патрубок

Змішувач (рис. 2.2) для перемішування сипких кормів працює в такий спосіб: компоненти завантажуються через патрубок 7, закріплений на нерухомій кришці 6 у верхній частині змішувального барабана і потрапляють всередину, де під власною вагою падають униз і накопичуються в нижній, донній частині барабана 1. Після завантаження вихідних компонентів у барабан змішувача включається електродвигун, що приводить в обертання через клиноремінну передачу вертикальний вал 3 з лопатками. У результаті обертання вертикального вала 3, його лопатки 4 кожного ряду крім верхнього, кидають компоненти на верхній ряд гвинтових лопатей 2 барабана 1, закріплених по спіралі на його внутрішній поверхні. Це дозволяє переміщатися суміші не лише в горизонтальному, але й, що дуже важливо, у вертикальному напрямках. Потрапивши на гвинтові поверхні лопатей барабана, частина суміші переміщається нагору і скидається з лопатей, а інша частина зсипається та підхоплюється лопатками вала і знову підкидається на наступний ряд гвинтових поверхонь лопатей барабана. У такий спосіб суміш досягає верхньої частини барабана 1 змішувача, де лопатки 5, що мають зворотний кут установки, щодо лопаток нижніх рядів вертикального вала, «зрізують» суміш лопатей барабана останнього (верхнього) ряду і направляють її вниз, назустріч основному потоку. Після розвантаження змішувача через патрубок 8 процес повторюється.

Інтенсивний характер руху матеріалу на поверхні лопатей барабана змішувача забезпечує створення додаткових циркуляційних потоків руху компонентів суміші із застійних зон змішувача. Таким чином, запропонована конструкція змішувача з високошвидкісним режимом змішування сипких кормів дозволить поліпшити якість суміші і підвищити ступінь розвантаження готового продукту за рахунок потоків і множинних траєкторій руху часток матеріалу, що сприяють переміщенню компонентів суміші як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямках усередині барабана змішувача.

2.2 Розрахунки потужності розробленого змішувача

Повна потужність лопатевого змішувача, необхідна для змішування часток матеріалу буде складатися з потужності, затрачуваної на підтримку швидкісного режиму суміші в зоні вихрового руху, потужності, що витрачається на подолання сил опору руху лопатки.

2.2.1 Потужність на подолання сил опору руху лопатки

Потужність, необхідна для подолання сил опору руху лопатки змішувача, буде складатися з потужності N_1, затрачуваної на подолання сили опору обумовленою тиском матеріалу суміші на поверхню лопатки, з потужності N_2, затрачуваної на подолання опору тертя по внутрішній бічній поверхні циліндричного корпусу внаслідок тиску відцентровою силою, з потужності N_3, затрачуваної на подолання опору зрушення суміші матеріалу відносно суміші, розташованої над лопаткою, N_4 – потужності на подолання опору тертя по дну циліндричного корпусу при переміщенні лопаткою матеріалу:

$$N_л=N_1+N_2+N_3+N_4, \tag{2.1}$$

Обчислимо масу матеріалу суміші, переміщувану лопаткою в циліндричній системі координат:

$$m_л = \frac{\gamma_0}{k}\int_0^{2\pi} dx \int_0^{h\cdot\cos\alpha} dz \int_0^{L} r dr = \frac{\pi\cdot\gamma_0}{k}\cdot h\cdot\cos\alpha\cdot\left(L^2-a^2\right), \tag{2.2}$$

де k – коефіцієнт розпушення суміші;

γ_0 – початкове значення насипної щільності корму, кг/м^3;

L – довжина лопатки, м;

a – відстань від осі обертання до початку лопаті

h - висота лопатки, м;

α - кут відхилення лопати від вертикалі, град.

Для обчислення потужності N_1 розглянемо розрахункову схему, представленої на рис. 2.3.

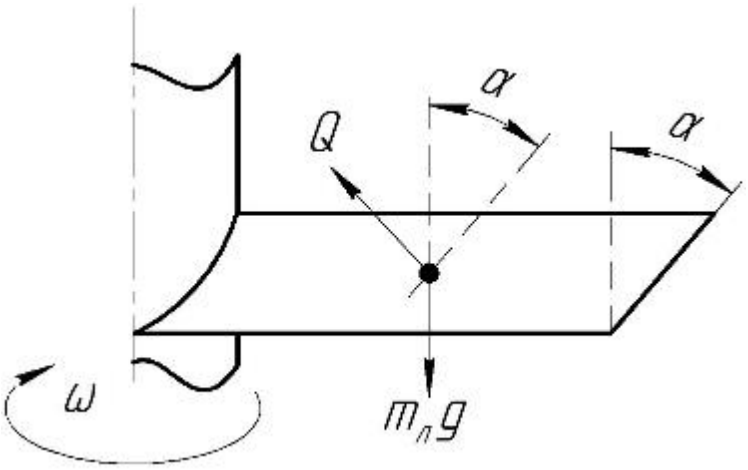


Рисунок 2.3 - Розрахункова схема до визначення сил, що діють на лопатку

На підставі представленої схеми знаходимо:

$$Q \cdot \sin\alpha = m_л \cdot g, \tag{2.3}$$

де Q - величина сили тиску на лопатку кормом, що перемішується.

Значення потужності N_1 буде визначено за наступним виразом:

$$N_1 = f_0 \cdot Q \cdot v_r = \frac{f_0 \cdot m_л \cdot g}{\sin\alpha}, \tag{2.4}$$

де f_0 – коефіцієнт тертя корму по лопатці;

v_r - швидкість сходу корму з лопатки в радіальному напрямку, м/с.

Підстановка (2.2) в (2.4) приводить до наступного результату:

$$N_1 = \frac{\pi \cdot \gamma_0}{2 \cdot k} \cdot h \cdot \left(L^2 - a^2\right) \cdot \left(L + a\right) \omega \cdot g \cdot ctg\alpha, \tag{2.5}$$

де ω - швидкість обертання лопатки, $с^{-1}$.

Величина потужності N_2, згідно з визначенням, буде визначена наступним співвідношенням:

$$N_2 = f_0 \cdot F_B \cdot \omega \cdot \left(L + a\right), \tag{2.6}$$

де F_B – відцентрова сила притиску корму до бокової стінки.

$$F_B = \frac{m_л \cdot \omega^2 \cdot \left(L + a\right)^2}{L + a} = \frac{\pi \cdot \gamma_0}{k} \cdot h \cdot \left(L^2 - a^2\right) \cdot \left(L + a\right) \cdot \omega \cdot \cos\alpha, \tag{2.7}$$

З урахуванням (2.7), (2.6) приводиться до наступного виду:

$$N_2 = \frac{\pi \cdot f_0 \cdot \gamma_0}{k} \cdot h \cdot \left(L^2 - a^2\right) \cdot \left(L + a\right)^2 \cdot \omega^3 \cdot \cos\alpha, \tag{2.8}$$

Якщо позначити через τ(r) – величину зсувних (дотичних) напружень, що виникають у сипучому матеріалі на відстані від осі обертання r, значення даних напружень можна визначити виходячи зі співвідношення Янсена:

$$\tau(r) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_0 \cdot g}{k} \cdot r, \tag{2.9}$$

тоді величина сили опору зрушення корму лопаткою буде рівна:

$$F_r = h \cdot L \cdot \cos\alpha \cdot \tau(r) = \frac{h \cdot L \cdot \gamma_0 \cdot g}{2k} \cdot \cos\alpha \cdot r. \tag{2.10}$$

Величина роботи, необхідної для подолання опору сили (2.9), буде визначатися співвідношенням:

$$A_з = \int_{\alpha}^{L} F_r dr = \frac{h \cdot L \cdot \gamma_0 \cdot g}{4k} \cdot \left(L^2 - a^2\right) \cdot \cos\alpha. \tag{2.11}$$

На підставі (2.11) знаходимо вираз, що визначає значення потужності N_3:

$$N_3 = A_з \cdot \omega = \frac{h \cdot L \cdot \gamma_0 \cdot g \cdot \omega}{4k} \cdot \left(L^2 - a^2\right) \cdot \cos\alpha. \tag{2.12}$$

Величину потужності N_4 знайдемо згідно зі співвідношення:

$$N_1 = f_0 \cdot m_л \cdot g \cdot \overline{\upsilon}_к, \tag{2.13}$$

де $\overline{\upsilon}_к$ – середнє значення колової швидкості лопатки, яке визначається за формулою:

$$\overline{\upsilon}_к = \frac{\omega}{L+a} \int_{a}^{L} r dr = \frac{\omega}{2} \cdot \frac{\left(L^2 - a^2\right)}{L+a}. \tag{2.14}$$

Підстановка (2.14) в (2.13) з урахуванням (2.2) приводить до наступного результату:

$$N_4 = \frac{1}{2} \cdot f_0 \cdot \frac{h \cdot \pi \cdot g \cdot \omega \cdot \gamma_0}{k} \cdot \frac{\left(L^2 - a^2\right)^2}{L + a}. \qquad (2.15)$$

2.2.2 Повна потужність розробленого змішувача

Повна потужність високошвидкісного лопатевого змішувача визначається за формулою:

$$N_n = N_в + N_л, \qquad (2.16)$$

де $N_в$ – потужність, затрачувана на підтримку швидкісного режиму суміші в зоні вихрового руху;

$N_л$ – потужність, що витрачається на подолання сил опору руху лопатки.

Якщо на валу розміщено n лопаток, тоді повна потужність N_n, затрачувана на надання корму руху, буде рівна:

$$N_n = N_в + \psi_л \cdot n \cdot (N_1 + N_2 + N_3) + N_4, \qquad (2.17)$$

де $\psi_л$ – коефіцієнт, що враховує взаємний вплив лопаток одна на одну при їхньому русі.

Таким чином, отримане співвідношення (2.17) визначає повну потужність високошвидкісного лопатевого змішувача залежно від його конструктивних і технологічних параметрів. Аналіз залежності величини повної потужності, споживаної змішувачем (рис. 2.4) при зміні частоти обертання вертикального валу

(приймаємо, що частота обертання суміші приблизно дорівнює частоті обертання вертикального валу) і кута атаки лопаті вертикального валу показав, що:

– мінімальне значення, рівне 1,5 кВт досягається при куті атаки лопаті вала $\alpha = 50°$ и частоті обертання вала $\omega = 6c^{-1}$;

– максимальне значення, рівне 4,2 кВт, досягається при куті атаки лопаті валу $\alpha = 10°$ и частоті обертання $\omega = 8c^{-1}$;

– при цьому збільшення кута атаки лопаті вертикального валу в 5 разів зменшує споживану потужність в 1,7 рази, а збільшення частоти обертання валу в 1,3 рази збільшує споживання електроенергії в 2,6 рази.

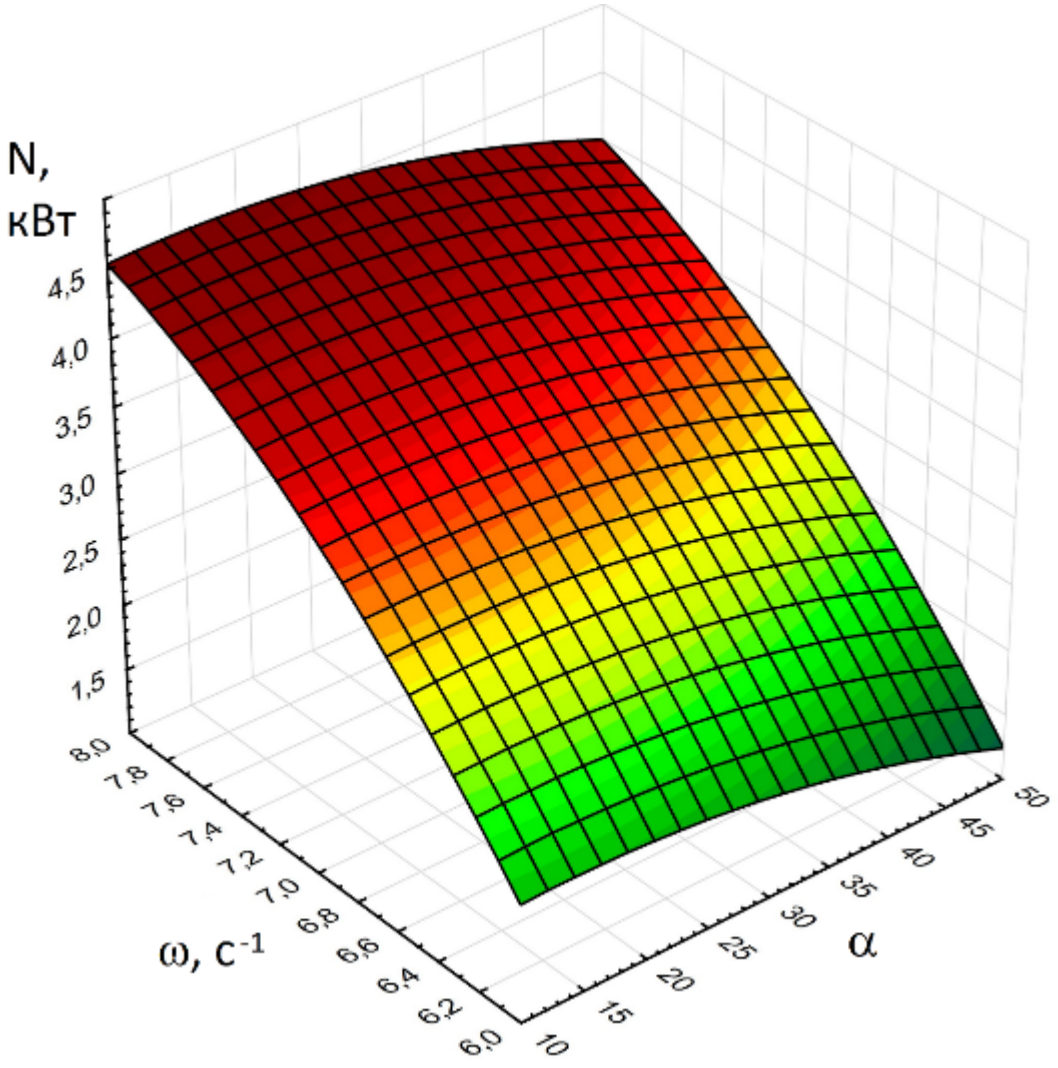


Рисунок 2.4 - Графік залежності повної потужності при зміні частоти обертання вертикального валу ω и кута атаки лопаті валу α.

2.3 Визначення конструкційних параметрів барабана змішувача

Розглянемо рух обсягу суміші по гвинтовій поверхні лопаті барабана, розташованої перпендикулярно до його циліндричної поверхні (рис. 2.5).

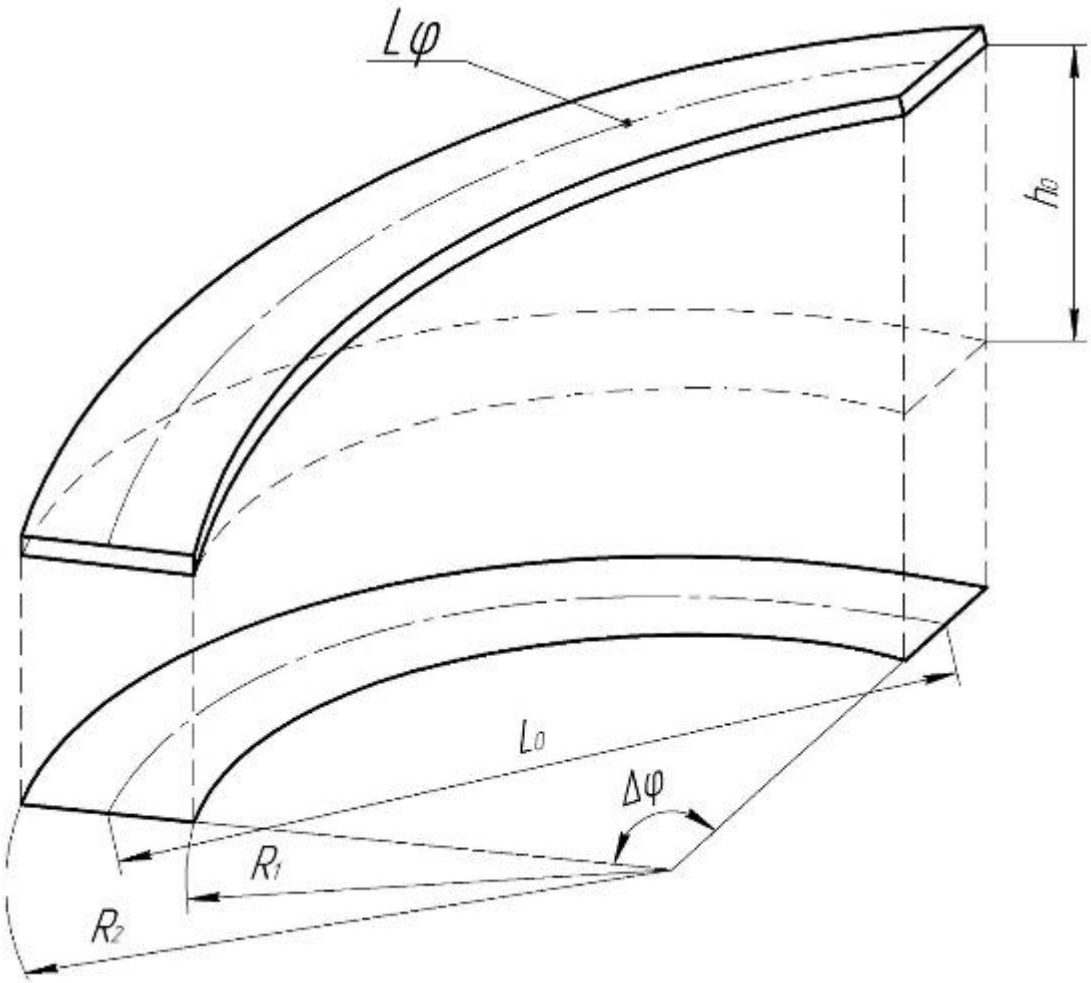


Рисунок 2.5 - Схема визначення геометричних параметрів гвинтової поверхні лопаті барабана

Згідно з розрахунковою схемою на рис. 2.6 знаходимо проекції сил на осі двовимірної системи координат «εOη»:

На вісь η: $$N - m \cdot g \cdot \cos\beta = 0, \qquad (2.18)$$

На вісь ε: $$m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \beta + f_c \cdot N, \quad (2.19)$$

де $$\beta = arctg \frac{h_0}{L}, \quad (2.20)$$

f_c – коефіцієнт тертя сухої суміші по гвинтовій поверхні лопаті барабана;

m – маса елементарного об'єму суміші;

L_0 – довжина проекції твірної гвинтової поверхні лопаті барабана.

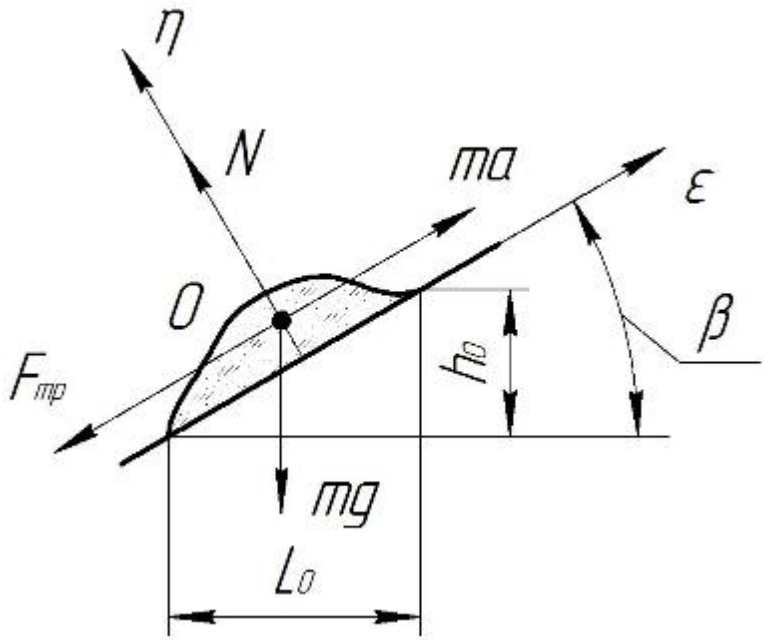


Рисунок 2.6 - Схема сил, що діють на часточку матеріалу в кормі

З урахуванням (2.18) співвідношення (2.19) приводиться до наступного виду:

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \beta + f_c \cdot m \cdot g \cdot \cos \beta. \quad (2.20)$$

Після нескладних математичних перетворень вираз (2.120) приймає вид:

$$a = g\left(\sin\beta + f_c \cdot \cos\beta\right). \tag{2.21}$$

У силу того, що

$$a = \frac{dv_\varepsilon}{dt} \tag{2.22}$$

співвідношення (2.21) має такий вигляд:

$$\frac{dv_\varepsilon}{dt} = g\left(\sin\beta + f_c \cdot \cos\beta\right). \tag{2.23}$$

Інтегрування диференціального рівняння (2.23) приводить до результату:

$$v_\varepsilon = g \cdot t \cdot \left(\sin\beta + f_c \cdot \cos\beta\right) + C_v, \tag{2.24}$$

Тут C_v постійна інтегрування, яка визначається з наступної початкової умови:

при t=0: $$v_\varepsilon = \frac{R_2 - R_1}{2}\cos\beta \cdot \omega, \tag{2.25}$$

де ω – частота обертання вертикального валу;

R_2 – відстань від осі обертання до корпуса змішувача,

R_1 – відстань від осі обертання до проекції внутрішньої частини поверхні пера на горизонтальну площину.

На підставі (2.25) вирар (2.24) приймає вид:

$$v_\varepsilon = g \cdot t \cdot \left(\sin\beta + f_c \cdot \cos\beta\right) + \frac{R_2 - R_1}{2}\cos\beta \cdot \omega, \tag{2.26}$$

Якщо врахувати, що:

$$v_\varepsilon = \frac{d\varepsilon}{dt}, \tag{2.27}$$

тоді вираз (2.24) перетвориться до наступного виду:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = g \cdot t \cdot \left(\sin\beta + f_c \cdot \cos\beta\right) + \frac{R_2 - R_1}{2}\cos\beta \cdot \omega. \tag{2.28}$$

Інтегрування диференціального рівняння (2.28) приводить до наступного результату:

$$\varepsilon = \frac{g \cdot t^2}{2} \cdot \left(\sin\beta + f_c \cdot \cos\beta\right) + \frac{R_2 - R_1}{2}\cos\beta \cdot \omega \cdot t + C_\varepsilon. \tag{2.29}$$

Постійну інтегрування в (2.29) знаходимо на підставі умови:

$$\text{при } t=0 \quad \varepsilon=0. \tag{2.30}$$

Згідно (2.30) постійна інтегрування рівна:

$$C_\varepsilon = 0. \tag{2.31}$$

З урахуванням (2.31) співвідношення (2.29) має вигляд:

$$\varepsilon = \frac{g \cdot t^2}{2} \cdot \left(\sin\beta + f_c \cdot \cos\beta\right) + \frac{R_2 - R_1}{2} \cos\beta \cdot \omega \cdot t. \qquad (2.32)$$

На підставі співвідношення (2.32) за час $t=t_\varphi$,

$$t_\varphi = \frac{\Delta\varphi}{\omega}, \qquad (2.33)$$

де t_φ – час повороту об'єму суміші на гвинтовій поверхні лопаті барабана на кут φ.

Об'єм суміші на спіральній поверхні повинен пройти шлях L_φ. На підставі (2.32) одержимо залежність довжини твірної гвинтової поверхні лопаті барабана від конструктивно-технологічних параметрів змішувача:

$$L_\varphi = \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{\Delta\varphi}{\omega}\right) \cdot \left(\sin\beta + f_c \cdot \cos\beta\right) + \frac{R_2 - R_1}{2} \cos\beta \cdot \Delta\varphi, \qquad (2.34)$$

Таким чином, отримане співвідношення (2.34) встановлює взаємозв'язок між конструктивними параметрами корпусу змішувача і технологічними параметрами його роботи.

2.4 Висновки до розділу

1. Проведено розробку нової конструкції швидкохідного змішувача сипких кормів.

2. Мінімальне значення потужності на привід змішувача, рівне 1,5 кВт досягається при куті атаки лопаті вала $\alpha = 50°$ и частоті обертання вала $\omega = 6с^{-1}$, максимальне значення, рівне 4,2 кВт, досягається при куті атаки лопаті валу

$\alpha = 10°$ и частоті обертання $\omega = 8c^{-1}$, при цьому збільшення кута атаки лопаті вертикального валу в 5 разів зменшує споживану потужність в 1,7 рази, а збільшення частоти обертання валу в 1,3 рази збільшує споживання електроенергії в 2,6 рази.

Отримано співвідношення, яке встановлює взаємозв'язок між конструктивними параметрами корпусу змішувача і технологічними параметрами його роботи

3 Програма і методика експериментальних досліджень змішувача

3.1 Постановка мети і задач експериментальних досліджень

Для визначення раціональної конструкції і режимів роботи змішувача необхідно провести експериментальні дослідження з вивчення впливу основних конструкційно- технологічних параметрів на ефективність процесу змішування при приготуванні сипких кормів.

Метою експериментальних досліджень є визначення найбільш раціональної конструкції основних робочих вузлів і режимів роботи швидкохідного змішувача примусової дії при можливих максимальних показниках якості одержуваної суміші і мінімальних енерговитрат. На підставі поставленої мети завданнями експериментальних досліджень є: установити залежність між основними конструктивними параметрами досліджуваного змішувача і його енерго – технологічними показниками роботи, а також визначити характер впливу режимів роботи змішувача на процес змішання сипких кормів, що перебувають у псевдозрідженому стані. Тому доцільно провести оцінні експерименти на натурній моделі змішувача при різних комбінаціях його геометричних і технологічних параметрів з метою зіставлення теоретичних і експериментальних даних. Використовуючи в дослідженнях принцип повного багатофакторного планування експерименту, одержати необхідні дані і провести їхній аналіз за допомогою методів математичної статистики і використання програмних продуктів та обчислювальної техніки.

3.2 Обладнання та методика для проведення досліджень

Дослідження проводилися в лабораторії кафедри ІТС Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету на базі розробленої експериментальної установки спірально-лопатевого змішувача компонентів комбікормів за прийнятими та розробленими методиками на спеціально виготовленій установці (рис. 3.1, 3.2).

При визначенні якості змішування комбікормів проби відбиралися відповідно до ДСТУ 13586.3-2006 «Метод відбору проб».

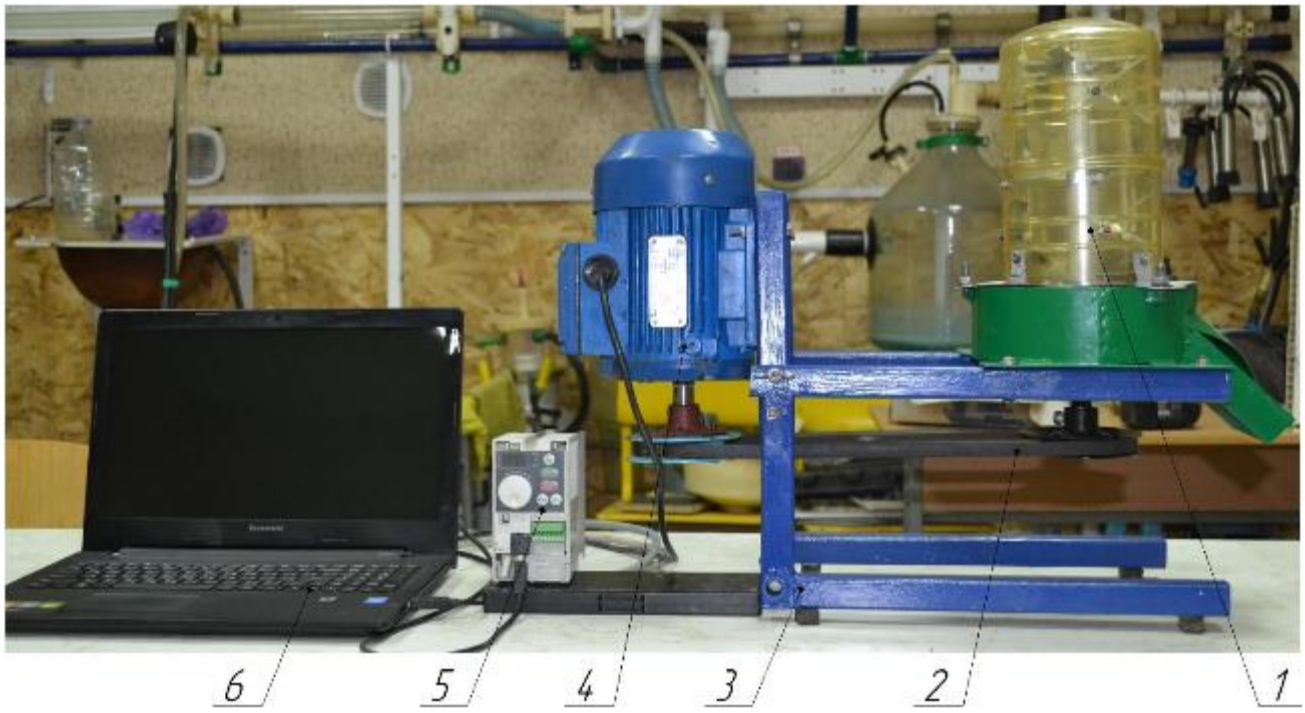


Рисунок 3.1 – Експериментальна установка: 1 – модель змішувача; 2 – клинопасова передача; 3 - станина; 4 - електродвигун; 5 – частотний регулятор; 6 - ноутбук

Модель експериментального барабанного змішувача виконана в масштабі 1:5. Привід змішувача – від електродвигуна АІР80В6 через клиноремінну передачу з передаточним числом 1:1. Живлення двигуна здійснювали за допомогою

частотного регулятора Mitsubishi S 500. Частоту обертання двигуна встановлювали та вимірювали за допомогою частотного регулятора. Потужність на привід знімали з частотного регулятора на ноутбуці за допомогою програми МСТ 10.0. Проби для визначення контрольного компоненту у суміші відбиралися по закінченню циклу змішування.

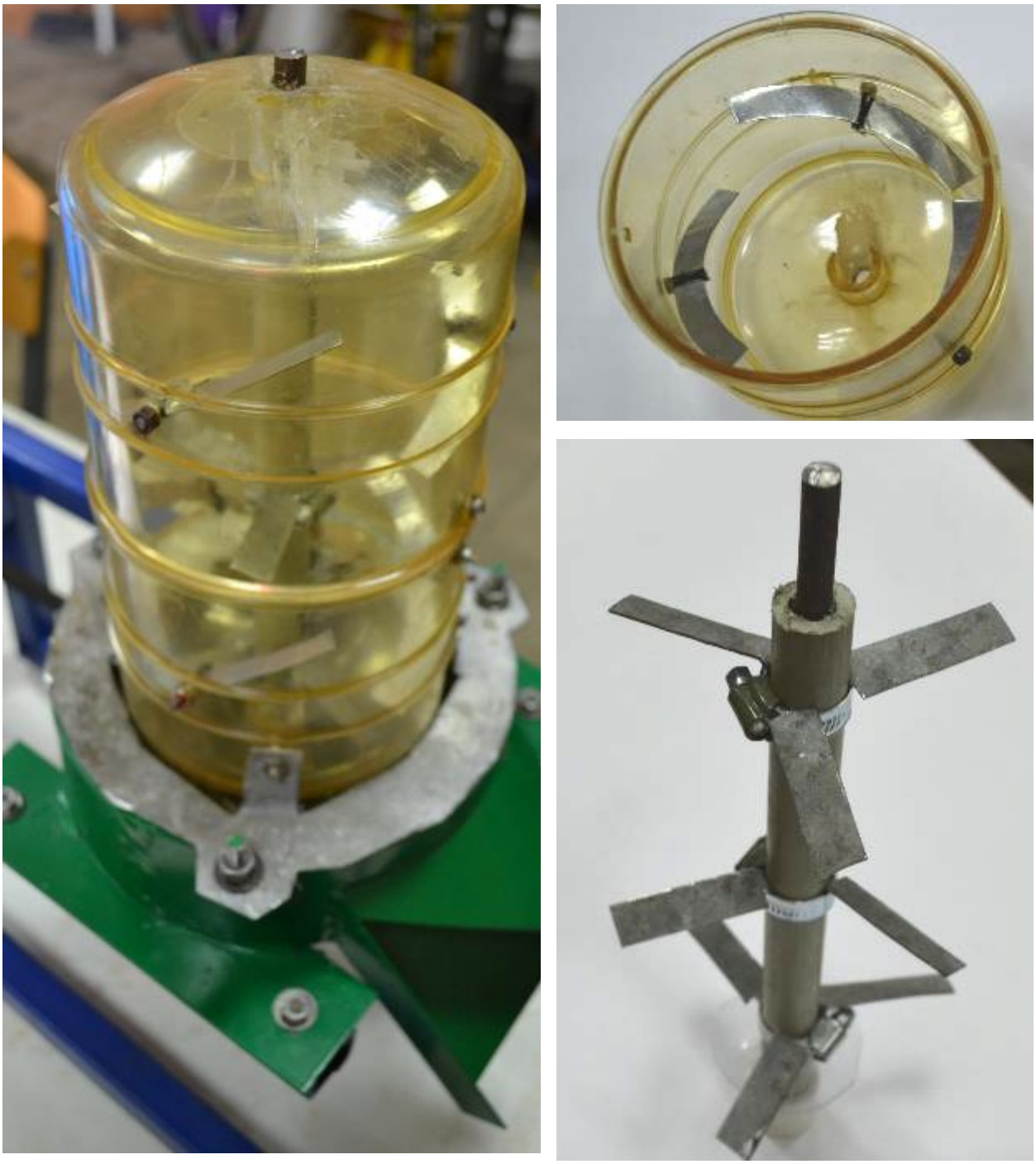


Рисунок 3.2 – Елементи змішувача

У якості незалежних факторів були обрані:

– частота обертання вертикального валу, хв$^{-1}$ (x_1);

– кут установки лопаті на вертикальному валу щодо вертикальної площини (кут атаки лопаті), град. (x_2);

Дослідження проводились за D-оптимальним планом Бокса другого порядку для 2-х факторів. Матриця плану, фактори експерименту та їх рівні представлено в таблиці 3.1. Рівні варіацій факторів були обрані з теоретичних досліджень конструктивно-технологічних параметрів змішувача (розділ 2).

Таблиця 3.1 – Матриця плану експерименту та рівні варіювання факторами

Рівні варіювання факторів	Фактори	
	x_1	x_2
Показник	Частота обертання вертикального валу,хв$^{-1}$	Кут атаки лопаток вертикального валу, град.
Позначення	n	α
Верхній рівень (+)	600	45,0
Основний рівень (0)	500	35,0
Нижній рівень (-)	400	25,0
Інтервал варіацій факторів	100	10,0
План досліду		
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	1
4	0	-1
5	0	0
6	0	1
7	1	-1
8	1	0
9	1	1

Обробка результатів досліджень, проведених методом математичного факторного планування експериментів, виконувались за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel 2010 та Statistica v. 10.1. Математична модель визначається по одному критерію оптимізації. Коефіцієнти регресії математичних моделей обчислюється за формулами для D-оптимальних планів дослідів. По знайденим коефіцієнтам для кожного критерію складаються рівняння регресії у кодованому вигляді.

Відтворення дослідів визначається по однорідності результатів вимірювань. Умови однорідності формалізуються так, щоб усі вимірювання, які входять у дану сукупність, могли виглядати як значення однієї випадкової величини, підпорядкованої нормальному розподілу.

3.3 Методика кодування факторів

Щоб дати більш докладний аналіз рівнянню регресії і інтерпретувати його в графічний вид, необхідно перевести рівняння з кодованої форми в натуральний вид. Це можливо при використанні наступних виразів:

$$x_k = \frac{x_н - x_0}{\Delta}, \tag{3.1}$$

де x_k – позначення фактора варіювання в кодованому виді;

$x_н$ – позначення фактора варіювання в натуральному виді;

x_0 – значення нульового рівня варіювання фактора;

Δ – крок варіювання.

На підставі формули 3.1 одержимо значення кожного фактора варіювання в натуральному виді.

Для x_1:

$$x_1 = \frac{n - 500}{100}, \tag{3.2}$$

де n – частота обертання вертикального валу, хв-1.

Для x_2:

$$x_2 = \frac{\alpha - 35}{10}, \tag{3.3}$$

де α– кут нахилу лопатки вертикально валу, град.

Визначити значимість факторів можна за допомогою коефіцієнта еластичності Ei, який показує, на скільки відсотків змінюється функція, якщо аргумент змінюється на одиницю (на 1%) [1,92]:

$$E_i = \frac{b_i x_{i0}}{b_0}, \tag{3.4}$$

де x_{i0} - натуральне значення основного (нульового) рівня фактора;

b_0, b_i - коефіцієнти регресії.

Значимість факторів ξ визначають:

$$\xi = \frac{E_i}{E_\Sigma} \cdot 100\%, \tag{3.5}$$

де E_Σ – сумарний коефіцієнт еластичності;

E_i - коефіцієнт еластичності

4 Результати експериментальних досліджень

4.1 Дослідження питомої енергоємності змішувача

На підставі обраного плану проведених експериментів, факторів і рівнів варіювання, отримані результати експериментальних досліджень, представлених у таблиці 4.1.

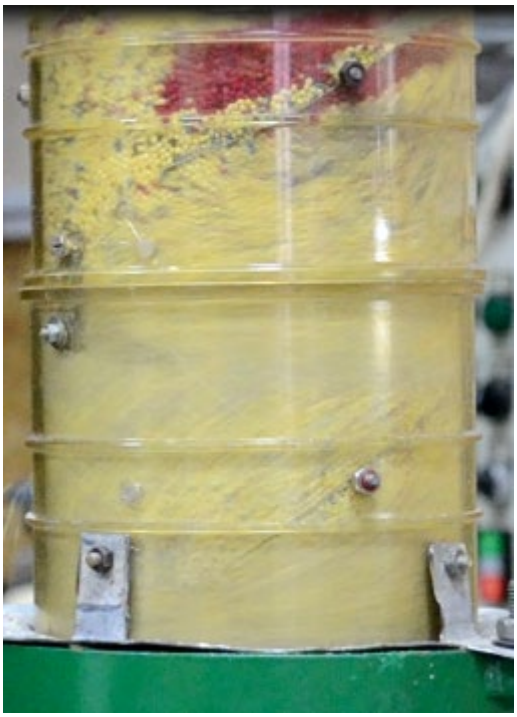
Таблиця 4.1 – Результати експериментальних досліджень

№ досліду	x_1 – частота обертання вертикального валу, хв$^{-1}$	x_2 – кут атаки лопатки валу, град.	Питома енергоємність змішування, кВт·год/т	Коефіцієнт неоднорідності змішування, %
1	400	25	0,8	5,6
2	400	35	0,72	3,3
3	400	45	0,64	10,1
4	500	25	1,52	4,4
5	500	35	1,4	2,2
6	500	45	1,6	9,5
7	600	25	1,4	7,8
8	600	35	1,8	5,6
9	600	45	1,4	11,2

Після обробки результатів експериментальних досліджень отримане рівняння регресії в кодованому виді:

$$q = 3,2 + 0,4x_1 - 0,3x_2 - 0,3x_1^2 + 0,1x_2^2 - 0,5x_1x_2 \qquad (4.1)$$

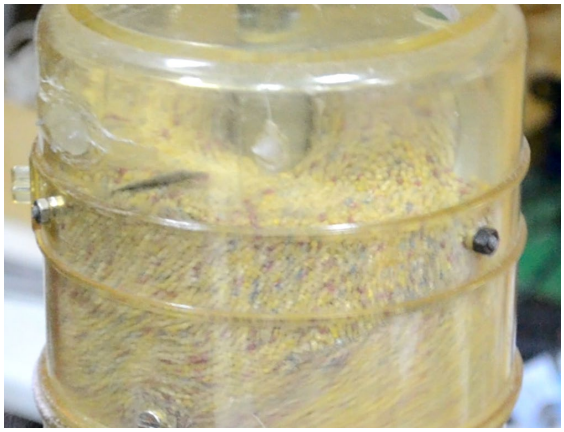
а



б

в

г



д

Рисунок 4.1 - Змішувач в роботі: а – завантажені компоненти, б – початок роботи, в – 15 секунд роботи, г – стан спокою, д – псевдозріджений стан

Провівши аналіз даного рівняння регресії можна сказати, що найбільший вплив на питому витрату електроенергії має частота обертання вертикального валу змішувача x_1, тому що його коефіцієнт має найбільше значення, а знак «+», означає, що при збільшенні значення даного фактора буде збільшуватися питома витрата електроенергії, чому сприяє збільшення числа обертів лопатевого валу.

Знаки «-» мають коефіцієнти перед фактором x_2 (кут установки лопаток на валу), що означає зниження питомої витрати електроенергії при рості цього фактору.

Аналізуючи рівняння регресії (4.1) визначимо значимість факторів x_1 та x_2 (для коефіцієнтів x_i, x_{i2}, $x_{ij\Sigma}$ по частках загальна сума по модулю рівна 200%, але при аналізі впливу сумарної значимості факторів ураховуються знаки при коефіцієнтах у рівнянні регресії) [48, 49].

Найбільший вплив на величину питомої витрати електроенергії має фактор x_1 (Σ 62%). Значимість фактору x_2 - Σ 38 %, що менше впливу фактору x_1 в 1,7 рази.

Декодуючи рівняння (4.1), одержимо його в натуральному виді:

$$q = -18{,}14 + 0{,}055n + 0{,}18\alpha - 0{,}00003n^2 + 0{,}0009^2 - 0{,}0003n\alpha \,. \quad (4.2)$$

На рис. 4.2 представлено графічну інтерпретацію залежності зміни питомої витрати електроенергії від зміни основних факторів: числа обертів вертикального вала n та кута атаки лопатки α.

1. По показнику частоти обертання графік має ділянки зростання та спаду, що забезпечують вплив ефектів взаємодії парних членів x_1x_2, коефіцієнт, якого позитивний. Аналіз приведеної на рис. 4.2 залежності показав, що:

При кутах атаки лопаток валу, що змінюються в інтервалі 25…35° графіки носять зростаючий характер. При збільшенні частоти обертання валу приблизно в 1,3 рази (400-520 хв$^{-1}$) питома витрата електроенергії збільшується приблизно в 3,5 раз. Це пояснюється більшим опором руху матеріалу, що перемішується, і слабким переміщенням матеріалу із шару в шар повз гвинтові поверхні. Мінімальні значення q=0,4…0,8 кВт·год/т при n=400 хв-1 пояснюється тим, що при малих швидкостях валу буде менший опір середовища і сили тертя.

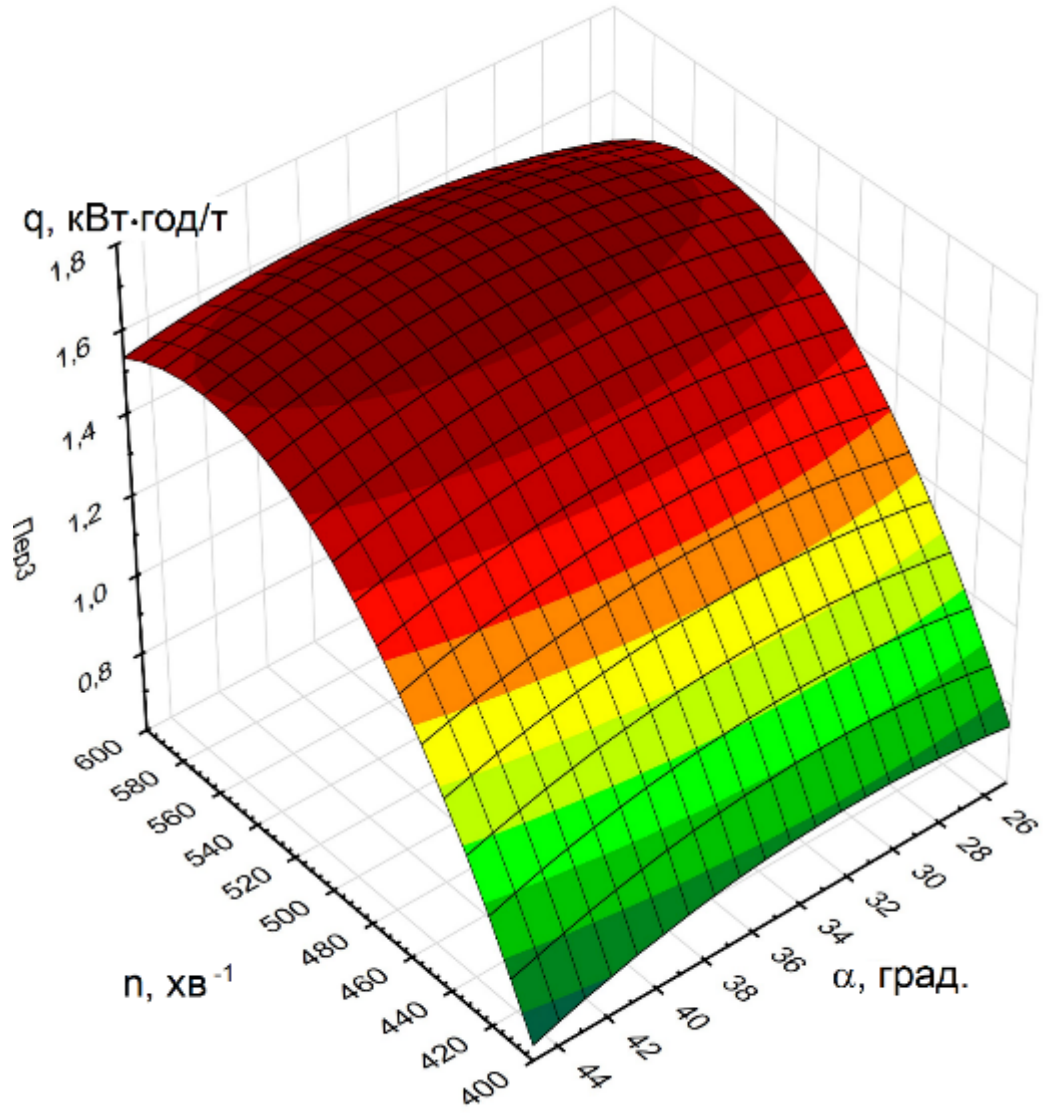


Рисунок 4.2 – Залежність питомої енергоємності змішувача від числа обертів вертикального вала n та кута атаки лопатки α

2. При збільшенні значення кута атаки лопаток до 35…40° про помітно невелике зниження питомої витрати електроенергії. Максимальні значення функції відгуку q при n=600 хв$^{-1}$ рівні 1,6…1,7 кВт·год/т. Причому мінімальні значення питомої витрати електроенергії 1,52…1,55 кВт·год/т спостерігаються при n =600 хв $^{-1}$, що більше приблизно на 20% рази, ніж при кутах атаки лопаток до35°. Це можна пояснити зниженням опору і більшим переміщенням матеріалу із шару в шар через утворення шару, який виникає при досить великій частоті обертання лопатевого вала, коли відцентрові сили, що діють на частки матеріалу, переважають над їхніми силами ваги, що забезпечує псевдозрідження суміші.

3. При збільшенні значення кута атаки лопаток валу до 45° спостерігаємо незначне зниження питомої енергоємності. Максимальні значення питомої витрати електроенергії при n =550 хв$^{-1}$ рівні 1,8 кВт·год/т, що в 1,2 рази більше, чим при кутах атаки лопаток 35…40 °. Це можна пояснити збільшенням сил тертя через утвірення мертвих зон. При n=600 хв$^{-1}$ значення питомої витрати електроенергії менше в 1,2 рази при тих же кутах атаки лопаток і змінюється в інтервалі 1,5…1,6 кВт·год/т . Це пов'язане з тим, що лопатки при більших швидкостях починають різати шар матеріалу, що знижує міжшарові сили тертя.

Отримані в ході експериментальних досліджень результати залежності питомої витрати електроенергії від числа обертів вертикального вала порівнювалися з теоретичними, розрахованими на підставі математичної залежності, представленої в розділі 2, формула 2.17. Результати розрахунків потужності, що витрачається на процес змішування, переводилися в питому витрату електроенергії з урахуванням коефіцієнта завантаження змішувача φ=0,7 компонентами масою 15 кг і часом змішування сухих компонентів t=40-50 секунд. При цьому Найбільша розбіжність між теоретичними й експериментальними результатами склало 12,5%.

4.2 Дослідження коефіцієнта неоднорідності суміші

Після обробки результатів експериментальних досліджень отримане рівняння регресії в кодованому виді:

$$C = 4,3 - 0,5x_1 - 0,3x_2 - 1,4x_1^2 + 1,1x_2^2 - 0,2x_1x_2 \qquad (4.3)$$

Аналізуючи рівняння регресії (4.3) визначимо значимість факторів x_1, x_2 (для коефіцієнтів x_i, x_{i2}, $x_{ij\Sigma}$ по частках загальна сума по модулю рівна 200%, але при аналізі впливу сумарної значимості факторів ураховуються знаки при коефіцієнтах у рівнянні регресії). Найбільший вплив на величину коефіцієнта неоднорідності C має фактор x_2 (Σ 67%). Значимість фактору x_1 - Σ 33%, що менше впливу фактора x_2 в 2 рази. Знак «–» при коефіцієнтах фактору x_1 означає, що при збільшенні значень даного фактору (частота обертання вала змішувача) коефіцієнт неоднорідності суміші C буде зменшуватися, а знак «+» при коефіцієнті фактора x_2 (кут установки лопат на валу змішувача) – збільшуватися.

Декодуючи рівняння (4.3), одержимо його в натуральному виді:

$$C = 90,19 - 0,17n - 0,72\alpha + 0,00016n^2 + 0,11^2 - 0,00014n\alpha\,. \qquad (4.4)$$

Тут потрібно відзначити, що на коефіцієнт неоднорідності суміші частота обертання лопатевого валу виявляє найменший вплив, тому має сенс для забезпечення найбільшої якості готового продукту, при виборі раціональних параметрів, більш докладно розглянути залежність коефіцієнта неоднорідності суміші C від кута атаки α. Поверхня (рис. 4.3) носить вид зворотної параболи, які забезпечують вплив ефектів взаємодії всіх парних членів, коефіцієнти, яких позитивні. При цьому зростання функцій забезпечується часткою впливу величин

коефіцієнтів при x_2 (20%) (як найбільш значимого сумарного) і x_1 (61%) у частках, що мають знак «+». Але, тому що сумарні частки при x_1 і x_3 при основних і квадратичних членах негативні, то вони й забезпечують падіння функцій.

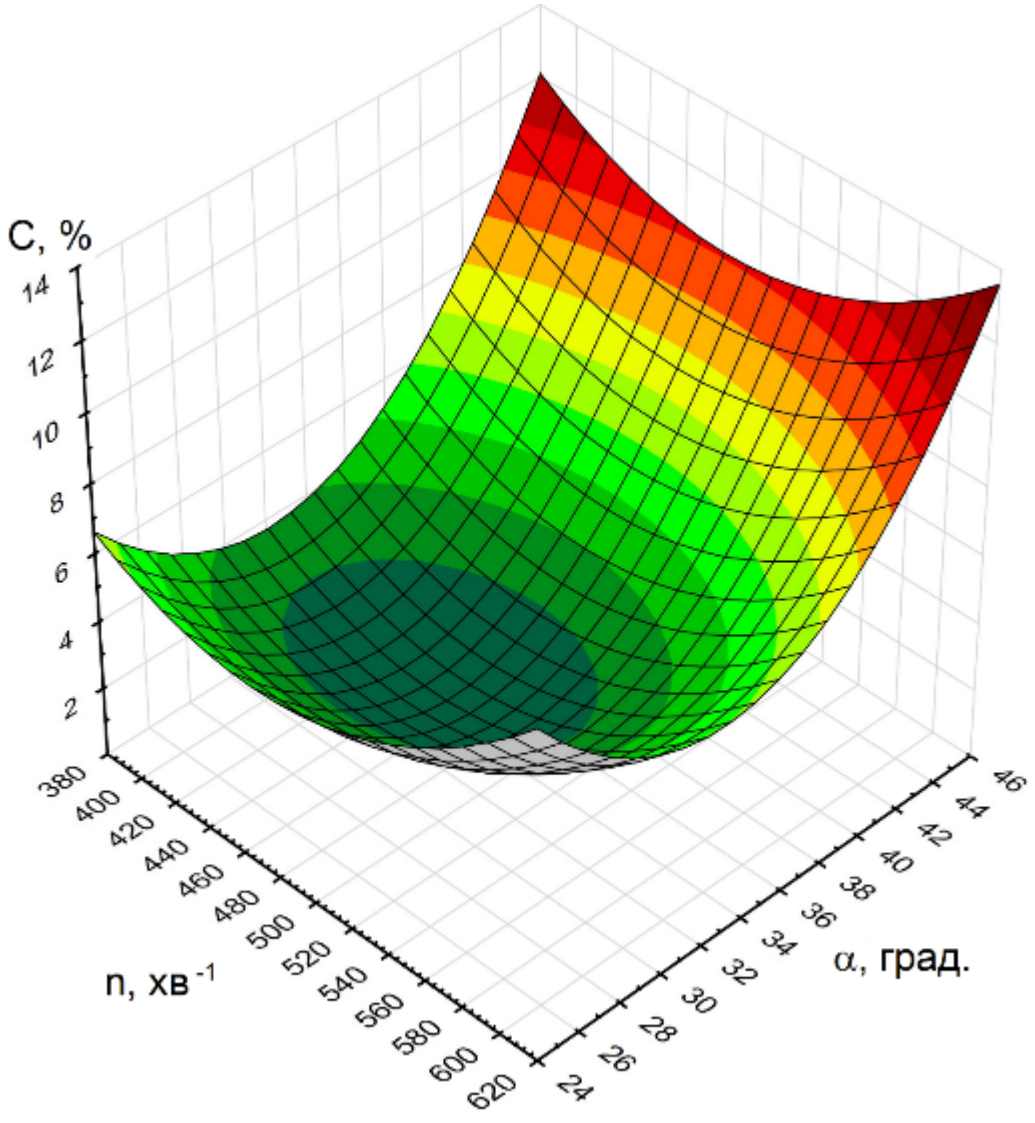


Рисунок 4.3 – Залежність коефіцієнта неоднорідності суміші від числа обертів вертикального вала *n* та кута атаки лопатки α

Аналіз поверхні залежності коефіцієнта неоднорідності *C* від кута атаки лопат α та швидкості обертання вала n показав, що:

1. Мінімальні значення коефіцієнта неоднорідності суміші (2,7 %) одержуємо при куті атаки лопаток вала α=33 ° і частоті обертання лопатевого валу 460 хв$^{-1}$. Це можна пояснити тим, що при мінімальному значенні кута атаки

α, розташування лопаток порушує режим псевдозрідження суміші, що негативно впливає на процес змішування, а при максимальному куті атаки $\alpha = 45°$, псевдозріджена суміш вільніше сковзає по лопатках через зниження коефіцієнта тертя, що так само збільшує коефіцієнт неоднорідності суміші.

2. Більшу різницю значень коефіцієнта неоднорідності суміші при мінімальному і максимальному значеннях частот обертання вала і невеликому куті атаки лопаток, можна пояснити підвищенням псевдозрідження компонентів завантаження при максимальній частоті обертання лопатевого валу, з урахуванням покращення переходу часток із шару в шар, значення коефіцієнтів неоднорідності зрівнюються. При куті атаки α=45° і частоті обертання лопатевого вала 400 хв$^{-1}$ і 600 хв$^{-1}$ спостерігається найбільші значення коефіцієнтів неоднорідності 8,9 % і 11,2 %, тобто при максимальній частоті обертання величина коефіцієнта неоднорідності більше в 1,2 раз. Це відбувається через те, що частина часток в шарі кипіння прослизає над лопатями і лише менша їх частина накидається на гвинтову поверхню, що перешкоджає переміщенню часток між шарами.

Таким чином, мінімальні значення коефіцієнта неоднорідності суміші рівні 2,7% і 2% відзначаються при куті атаки в 33°, частоті обертання лопатевого вала 460 хв$^{-1}$. Це пояснюється тим, що основна маса матеріалу піднімається по гвинтовій поверхні лопатей бункера і наприкінці її, переходить із шару в шар під дією сили ваги, що сприяє перемішуванню компонентів суміші.

4.3 Висновки до розділу

1. У ході реалізації повного факторного експерименту отримані адекватні рівняння регресії: зміни питомої енергоємності (q, кВт·год/т) та коефіцієнта неоднорідності суміші (C, %) залежно від основних факторів:

- частота обертання лопатевого вала n=400…600 хв$^{-1}$;

- кут атаки лопаток вертикального валу 25…45°.

2. Встановлено, що мінімальна питома витрата електроенергії спостерігається при мінімальній частоті обертання валу – 400 $хв^{-1}$, і складає:

- при значеннях кута атаки лопаток вертикального валу 25…35° - 0,4…0,55 кВт·год/т;

- при значеннях кута атаки лопаток вертикального валу 35…45° - 0,55…0,8 кВт·год/т.

3. Встановлено, що мінімальні значення коефіцієнта неоднорідності суміші рівні 2,7 % відзначаються при куті атаки α=33 ° і частоті обертання лопатевого валу 460 $хв^{-1}$.

4. Враховуючи попередні дослідження енергоємності процесу та зважаючи на те, що якість змішування буде визначальним показником, можна стверджувати, що оптимальними конструкційними параметрами будуть – частота обертання 450…470 $хв^{-1}$, кут нахилу лопаток – 31…34 °. При цьому питома енергоємність процесу складе 0,95…1,1 кВт·год/т, що є досить низьким показником для змішувачів сипких кормів.

5 Охорона праці

5.1 Охорона праці при роботі зі змішувачем сипких кормів

За результатами обстеження експериментального зразка розробленого змішувача кормів було виявлені вузли, які потребують певної уваги з точки зору безпеки праці опера-тора (рисунок 5.1): 1 – рама; 2 – обертові лопаті; 3 – робоча камера; 4 – розвантажувальна горловина; 5 – клинопасова передача; 6 – електрокабель;7 – електродвигун; 8 – заземлення.

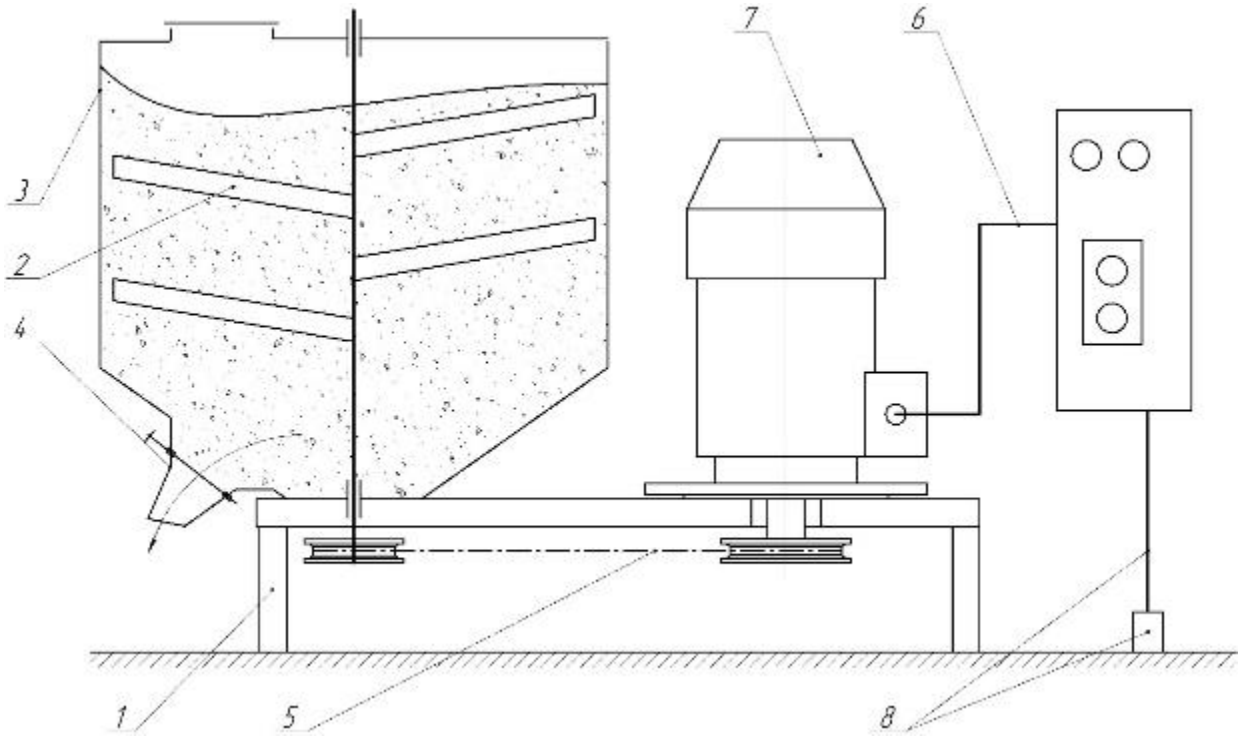


Рисунок 5.1 - Вузли, які потребують певної уваги з точки зору безпеки праці оператора: 1 – рама; 2 – обертові лопаті; 3 – робоча камера; 4 – розвантажувальна горловина; 5 – клинопасова передача; 6 – електрокабель;7 – електродвигун; 8 – заземлення.

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

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

Ознайомлення з обладнанням. Перед початком роботи зі змішувачем комбікорму обов'язково ознайомтеся з його конструкцією, принципом роботи та основними елементами. Вивчіть інструкцію виробника.

Одяг та індивідуальний захист. Користуйтеся засобами індивідуального захисту: захисні окуляри, відповідний одяг, рукавиці та взуття. Захист від пилу та хімічних речовин є обов'язковим.

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

Завантаження та вивантаження з обережністю. Завантажуючи чи вивантажуючи комбікорм, дотримуйтеся правил безпеки. Уникайте контакту з рухомими частинами та використовуйте відповідні інструменти.

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

Використання засобів захисту від шуму. У випадку високого рівня шуму використовуйте засоби захисту від шуму, такі як наушники чи беруші.

Екстрені вимкнення та навчання. Навчіть персонал використовувати екстрені вимикачі та інші засоби безпеки у випадках аварій чи непередбачених ситуацій.

Вентиляція. Підтримуйте приміщення, де знаходиться змішувач, з належною вентиляцією, особливо, якщо використовуються пилопоглинальні добавки.

Перерви та відпочинок. Забезпечте перерви та відпочинок для працівників, щоб уникнути втоми та стресу.

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

Навчання персоналу щодо надання першої допомоги. Навчіть персонал надавати першу допомогу у випадку травм або нещасних випадків.

Ведення журналу безпеки. Ведіть журнал безпеки, в якому фіксуйте всі випадки та заходи безпеки для подальшого аналізу та вдосконалення процесів безпеки.

Ця інструкція повинна бути адаптована до конкретних умов та обладнання на вашій фермі. Завжди слід дотримуватися стандартів безпеки та дотримуватися інструкцій виробника обладнання.

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

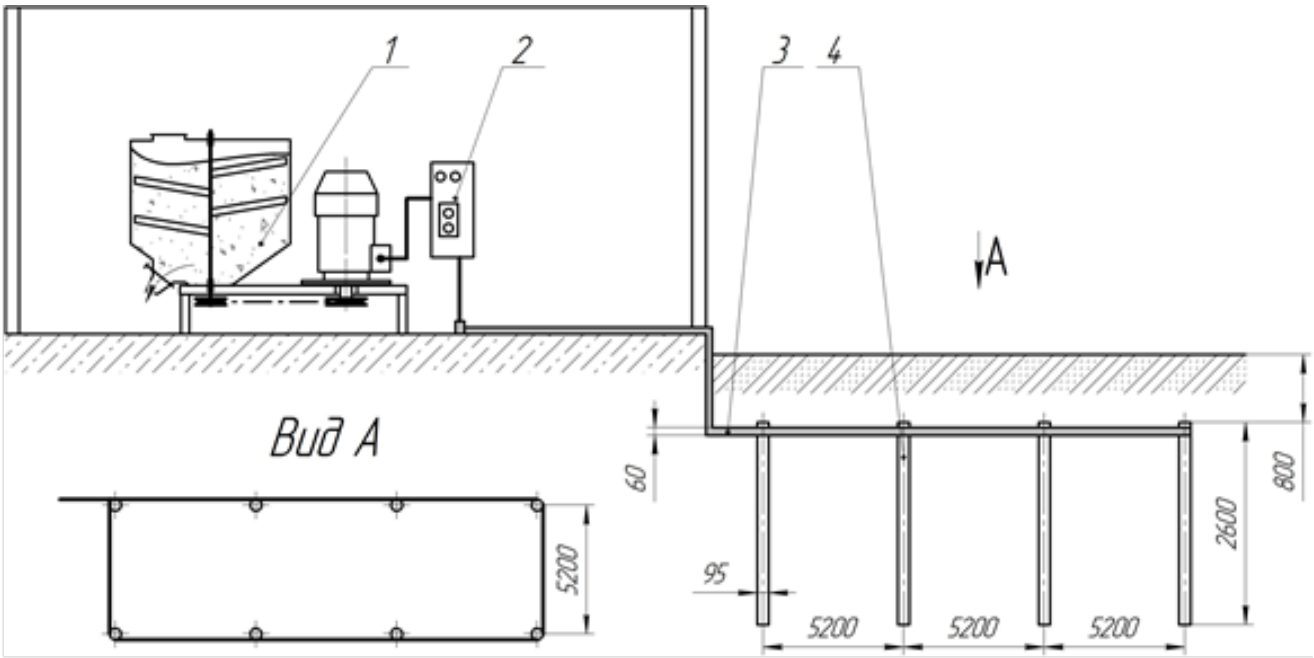


Рисунок 4.2 – Схема контурного захисного заземлення змішувача:

1– вертикальний заземлювач; 2 – горизонтальна смуга;

3 - блок керування; 4 – змішувач

5.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

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

Виклик рятувальних служб. Негайно викличте місцеву пожежну службу за номером "101", надаючи точну адресу ферми та детальний опис ситуації.

Активування системи сигналізації пожежі. Вмикаєте систему сигналізації пожежі для сповіщення працівників та сусідніх господарств про небезпеку.

Евакуація персоналу та тварин. Почніть евакуацію всього персоналу та тварин з безпечного вихідного шляху. Вирушайте до місця збору, яке заздалегідь повинно бути визначено.

Виклик інших екстрених служб. Телефонуйте іншим екстреним службам, таким як швидка допомога та поліція, якщо це необхідно.

Боротьба з пожежею. Якщо це безпечно та застосовно, використовуйте доступні засоби для гасіння пожежі (вогнегасники, гідранти). Спрямовуйте струмінь на джерело вогню, утримуючись на безпечній відстані.

Віддалення від небезпеки. Віддаліться від будівель та областей, де може відбутися руйнування або падіння конструкцій.

Закриття дверей та вікон. Якщо це можливо, закрийте двері та вікна, щоб уникнути поширення диму та зменшити подальші ризики.

Не використовуйте ліфти. У випадку пожежі не використовуйте ліфти для евакуації. Використовуйте лише сходи.

Відділення від електропостачання. Вимкніть електропостачання у потрібних зонах, якщо це безпечно зробити.

Використання протипожежного обладнання. Користуйтеся відомим вам протипожежним обладнанням та рятувальними шляхами.

Чекайте на рятувальників. Після евакуації залишайтеся на безпечному відстані від спалаху та чекайте прибуття рятувальних служб.

Надавання першої допомоги. Надайте першу допомогу потрібним особам, якщо це безпечно і ви маєте навички надання допомоги.

Збереження важливих документів. Зберігайте важливі документи в безпечному місці, щоб забезпечити доступ до них після пожежі.

Ця інструкція повинна бути регулярно переглядана та оновлювана відповідно до змін в умовах та обладнанні ферми. Навчання працівників з пожежної безпеки та виконання регулярних пожежних тренувань також є важливою частиною безпечної робочої середи.

5.4 Висновки до розділу

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

6 Економічна оцінка розробленого змішувача

6.1 Вихідні дані

У даному розділі визначимо економічну ефективність застосування розробленого змішувача сипких кормів у складі установки ЗКК-12.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до розрахунку техніко економічних показників

Показник	Варіанти	
	ЗКК-12	розроблений змішувач
Продуктивність, т/год.	1,2	1,5
Встановлена потужність, кВт	2,2	1,6
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Строк служби, років	10	10
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань	0,10	0,10
Коефіцієнт відрахувань на ТО та ремонт	0,14	0,14
Балансова вартість, грн.	86600	-
Капітальні вкладення, грн.	-	54500

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

6.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Порівнювати змішувачі кормів (базовий та удосконалений) будемо за питомими експлуатаційними витратами, які включають до свого складу витрати на заробітну платню, витрати на енергоресурси, амортизаційні відрахування та

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

Таблиця 6.2 - Показники економічної ефективності розробленого змішувача

Показники	Варіанти		Проектований у % до базового
	ЗКК-12 (базовий)	розроблений змішувач	
1	2	3	4
Продуктивність, т/год.	1,2	1,5	125,0
Встановлена потужність, кВт	2,2	1,6	72,7
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1	100,0
Балансова вартість, грн.	86600	-	-
Капітальні вкладення, грн.	-	79560	-
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	96,33	78,39	81,4
в т.ч.: заробітна платня	70,21	56,00	79,8
витрати на електроенергію	4,77	2,77	58,2
амортизаційні відрахування	11,86	10,90	91,9
витрати на ТО та ремонт	9,49	8,72	91,9
Максимальне річне навантаження, т	-	4380	-
Економія питомих експлуатаційних	-	17,94	-
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	78566,5	-
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	1,0	-

6.3 Висновки до розділу

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

Загальні висновки

Під час виконання дипломної роботи нами отримано наступні результати:

3. У результаті аналізу існуючих конструктивних схем змішувачів було встановлено, що перспективним напрямком в удосконалюванні конструкцій змішувачів сухих сипких кормів є створення швидкохідного змішувача періодичної дії з нерухомим циліндричним корпусом і одним вертикально розташованими лопатевим робочим органом, що забезпечує створення псевдозрідженого шару корму. Це дозволить скоротити час отримання якісної суміші зі зниженням питомих витрат енергії на процес змішування.

4. Мінімальне значення потужності на привід змішувача, рівне 1,5 кВт досягається при куті атаки лопаті вала $\alpha = 50°$ и частоті обертання вала $\omega = 6с^{-1}$, максимальне значення, рівне 4,2 кВт, досягається при куті атаки лопаті валу $\alpha = 10°$ и частоті обертання $\omega = 8с^{-1}$, при цьому збільшення кута атаки лопаті вертикального валу в 5 разів зменшує споживану потужність в 1,7 рази, а збільшення частоти обертання валу в 1,3 рази збільшує споживання електроенергії в 2,6 рази. Отримано співвідношення, яке встановлює взаємозв'язок між конструктивними параметрами корпусу змішувача і технологічними параметрами його роботи.

5. У ході реалізації повного факторного експерименту отримані адекватні рівняння регресії: зміни питомої енергоємності (q, кВт·год/т) та коефіцієнта неоднорідності суміші (C, %) залежно від основних факторів - частоти обертання лопатевого вала та кута атаки лопаток вертикального валу. Встановлено, що мінімальні значення коефіцієнта неоднорідності суміші рівні 2,7 % відзначаються при куті атаки $\alpha=33$ ° і частоті обертання лопатевого валу 460 $хв^{-1}$. Враховуючи дослідження енергоємності процесу та зважаючи на те, що якість змішування буде визначальним показником, можна стверджувати, що оптимальними конструкційними параметрами будуть – частота обертання 450…470 $хв^{-1}$, кут нахилу лопаток – 31…34 °. При цьому питома енергоємність процесу складе 0,95…1,1 кВт·год/т, що є досить низьким показником для змішувачів сипких кормів.

6. Розроблено заходи з охорони праці при роботі з проектованим змішувачем. Для зазначеного змішувача проведено проектування заходів з електробезпеки, в т. ч. розраховано захисне заземлення. Щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях, то нами проведено прогнозування наслідків вибуху газоповітряної суміші при витіканні газу із газопроводу.

7. Техніко-економічна оцінка експериментального змішувача показала, що в порівнянні з базовим ЗКК-12 він має переваги за експлуатаційними витратами. При цьому строк окупності при впровадженні при завантаженні на 100 % складе 1 рік. Мінімальний ступінь завантаження розробленого змішувача з точки зору його окупності складе 59,6 %.

Бібліографія

1. Єгоров, Б.В. Технологія виробництва комбікормів [Текст]: підруч. для вищ. навч. закладів/Б.В. Єгоров.–Одеса.: Друкарський дім, 2011.– 448 с.

2. Дудін В.Ю. Технологія виробництва і переробки продукції свинарства: навчальний посібник / М. Повод, О. Бондарська, В. Лихач, С. Жижка, В. Нечмілов та ін. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. – 360 с.

3. Романюха І.О., Дудін В.Ю. Курсове і дипломне проектування тваринницьких підприємств: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] /І.О. Романюха, В.Ю. Дудін; за ред. І. Романюхи. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2014. – 418 с.

4. Повод М.Г, Дудін, В.Ю., Шпетний М.Б. Розробка основних засад щодо обґрунтованого визначення розмірів санітарно-захисних зон свиноферм: монографія, Суми, «Сумський національний аграрний університет» 2019. – 96 с., ISBN 978-617-593-059-5

5. Дудін В.Ю. Експериментальні дослідження малогабаритного подрібнювача соковитих кормів/ В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, П.С. Височин // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Science and civilization – 2018, Volume 12, January 30 - February 7, 2018.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p

6. Дудін В.Ю. Формування якості годівлі повнораціонними комбікормами / В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, Ю.І. Мудрак, П.І. Черниш //Materiály XIV Mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy - 2018», Volume 8 : Praha. Publishing House «Education and Science» - S. 48-53.

7. Дудін В.Ю. Дослідження енергетичних характеристик процесу змішування сипких кормів/ В.Ю. Дудін, Я.О. Муха, О.Ю. Лук'яненко // Materials of the XIII International scientific and practical ConferenceConduct of modern science - 2018 , November 30 - December 7, 2018. Construction and architecture. Agriculture. Modern information technology.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p.

8. Дудін В.Ю. Дослідження процесу різання коренеплодів / В.Ю. Дудін, І.А. Бородавка//Materialy XV Miedzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji,

«Strategiczne pytania światowej nauki - 2019» , Volume 10 Przemyśl: Nauka i studia– 36-39 s.

9. Дудін В.Ю. Дослідження подрібнювача фуражного зерна сколюючої дії / В.Ю. Дудін, О.М. Антіпов // Materialy XV Miedzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019» , Volume 10 Przemyśl: Nauka i studia -33-35 s.

10. Suhadi, W. Die Schecke als Arbeitsorgan in verarbeitungs - maschinen. / W.Suhadi. //-Maschinenbautemechanik –№5, 1967, – P. 41-56. (англ)

11. Oyama J., Ayaki K. Kagaki Kikai, 1956, №20, – P. 6.

12. Lacey. P.M. Development in the Thery of Particfl mixing. J. Appl. Chem. 1954, №4, – P. 257

13. Duschek K. Optimierung der Produktion in einem bolivianischen Ziegelwerk / Ziegelindustrie International. Wiesbaden: Dauerlag

14. http://mehzavod.com.ua/Materials/%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82_%D0%9C%D0%9A%D0%A3.pdf

15. https://downloads.skiold.dk/downloads/leaflets/engelsk/disc-mill_gb.pdf

16. https://downloads.skiold.dk/downloads/feed/psheet/130986003949.pdf

17. https://agrostory.com/ua/info-centre/agronomists/mobilnyy-kombikormovyy-zavod-i-perspektivy-ego-ispolzovaniya-/

18. https://propozitsiya.com/ua/kombikorm-na-kolesah

19. https://riela.com.ua/peresuvna-ustanovka-kombikormiv/

20. Magnus, K. Schwingungen: Eine Einführung in die physikalischen Grundlagen und die theoretische Behandlung von Schwingungsproblemen [Text] / Kurt Magnus. - Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, 2008. – 74p.

21. Parkinson, A.G. Vibration and balancing of rotating continuous shafts [Text]/A.G. Parkinson, R.E.B. Bishop // Proc. IMechE, Part C: J. Mechanical Engineering Science. – 1961. – No.3. – P. 200-213.

22. Баранецька О.Р. Вібраційне змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / О.Р. Баранецька // Машинознавство. – 2000. – № 3 (33). – С. 60–63.

23. Афтаназів, І.С. Вибір технології і обладнання для змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / І.С.Афтаназів, О.Р.Баранецька, О.М. Сімчук// Машинознавство. – 1999. – № 5 (23). – С. 55–62.

24. Берник, М.П. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача [Текст] / М.П. Берник, О.В. Цуркан, Л.Д. Величко // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – № 2(18). – С. 3–7.

25. Sarang O. Effects of powder cohesion and segregation on pharmaceutical mixing and granulation: dissertation doctor of philosophy: 05.2003/ O.Sarang // USA: New Jersey. – 2016. – P.1-8 (140).

26. Берник М.П., Цуркан О.В. Обгрунтування технологічних та конструктивних схем енергозберігаючих віброзмішувачів барабанного типу // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – №1 (17). – С. 34–37.

27. Цуркан О.В., Величко Л.Д. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – №2 (18). – С. 3–7.

28. Берник П.С., Берник М.П., Цуркан О.В. Енергозберігаючі змішувачі для приготування сипучих кормів // Техніка АПК. – 2003. – №8. – С. 16–18.

29. Регресійний аналіз [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://libfree.com/114811945_ekonomikaregresiyniy_analiz.html- Назва з екрану.

30. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: Дис.- .докт. техн. наук: 05.20.01. - К., 1997.- 425 с.

31. Гевко І.Б., Гурик О.Я. Дослідження конструкторсько-технологічних параметрів зони перевантаження гвинтових транспортно-технологічних систем. Збірник наукових праць Національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". - Том VII. - К.: Видавництво НАУ. - 2000. - с. 184-190.

32. Григор'єв А.М., Преображенський П.А. Комплексна механізація і автоматизація вантажорозвантажувальних і транспортних робіт в машинобудуванні і приладобудуванні. К.: Наукова думка, - 1967. - 116 с.

33. Радик Д.Л., Гурик О.Я. Дослідження енерговитрат шнекового змішувача. - Тернопіль: Вісник ТДТУ, 2001, Том. 6, №3 - С56-61.

34. Оришка Х.О., Гончаров В., Кравцова Г., Артюхов А.. Процес взаємодії з сипкими матеріалами у постачальному пристрої гравітаційно- роторного типу. Вісник ТДТУ, Т.6., №4., 2001. С. 88-95.

35. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин. Навч. посібник. -К.: НМК ВО, 1992. - 320 с.

36. Стадник І.Я. Науково-технічні основи дискретної дії на компоненти при перемішуванні : монографія / І.Я. Стадник. – Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2015. – 240 с.

37. Strenk F. Mieszanieimieszalniki (Mixing and mixingequipment) / F.Strenk. – Warszawa : Wydawnictwa NaukowoTechniczne, 1971. – 367 p.

38. Стадник І.Я. Науково-технічні основи процесів та розробка обладнання для безлопатевого замішування тіста : дис ... д.т.н. : 05.18.12 / І.Я. Стадник. – Київ. – 2013. – 487 с.

39. Researching of the concentration distribution of soluble layers when mixed in the weight condition / I.Stadnyk, J.Pankiv, P.Havrylko, H.Karpyk // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – 2019. – Vol. 13. – № 1. – P. 581–592. DOI: 10.5219/1129. 5

40. Корнієнко Я.М. Процеси переносу в дисперсних системах : навч. посіб. / Я.М. Корнієнко, Р.В. Сачок. – Київ, 2011. – 132 с. 10. Расслоение в псевдоожиженом слое [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://repetitora.com/rassloeniev-psevdoozhizhenom-sloe.

41. Drobot V.I. Technological calculations in baking production / V.I. Drobot. – Condor, 2010. – 440 p.

42. Закон України «Про охорону праці»

43. НПАОП 0.00-4.21-04. «Типове положення про службу охорони праці»

44. ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять»

45. НПАОП 0.00-6.03-93 «Порядок опрацювання і затвердження роботодавцем нормативних актів з охорони праці, що діють на підприємстві»

46. Положення «Про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» (Наказ Держгірпромнагляду від 24.03.2008 року № 53).

47. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.