

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра інжинірингу технічних систем

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Оптимізація параметрів шнекового змішувача сипких кормів**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-2-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Джоболда Максим Дмитрович

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

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Потеруха Борис Тарасович

Дніпро 2023

**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)

«09» листопада 2023 р.

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

Джоболді Максиму Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптимізація параметрів шнекового 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  
«09» листопада 2023 року № 3422

2. Строк подання студентом 04.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування комбикормів, зокрема змішувачів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Теоретичні дослідження процесу змішування комбикорму в шнековому змішувачі. 3. Експериментальні дослідження лабораторного зразка шнекового змішувача. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографічний список.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

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

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 09.11.2023 р.\_\_\_\_\_.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 17.11.2023 р.	
2	Теоретичний	до 17.11.2023 р.	
3	Експериментальний	до 17.11.2023 р.	
4	Охорона праці	до 17.11.2023 р.	
5	Економічний	до 25.11.2023 р.	
6	Демонстраційна частина	до 04.12.2023 р.	

Студент

\_\_\_\_\_

( підпис )

Джоболда М.Д.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

Дудін В.Ю.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

№ п/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Номер аркуша	Примітка	
			<u>Текстові документи</u>				
1	A4		Пояснювальна записка	79			
			<u>Демонстраційні матеріали</u>				
2	A4		Мета і задачі досліджень.	3	2,3,4		
3	A4		Теоретичні дослідження	3	5,6,7		
4	A4		Експериментальні дослідження	2	8,9		
5	A4		Охорона праці	1	10		
6	A4		Економічна частина	1	11		
7	A4		Висновки	1	12		
					<b>46ДР049.000.000РД</b>		
<i>Вм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>			
Розробив	Джоболда				<b>Відомість дипломної роботи</b>	<i>літера</i>	
Перевірів	Дудін					<i>аркуш</i>	
Т. контр.						<b>3</b>	<i>арку-</i>
Н. контр.	Івлєв					<b>82</b>	
Затверд.	Дудін					<b>МгМ-2-22, ДДАЕУ</b>	

## АНОТАЦІЯ

Джоболда М.Д. Оптимізація параметрів шнекового змішувача сипких кормів /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2023.

Дипломна робота містить п'ять основних розділів. У вступі дипломної роботи обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та задачі, приведено методи досліджень. З аналізу стану питання змішування сипких кормів встановлено схему змішувача, який підлягає удосконаленню. В другому розділі проведено теоретичне моделювання роботи змішувача на основі чого обґрунтовано технологічні, геометричні, кінематичні та силові параметрів. В результаті лабораторних досліджень (розділ 3) визначено раціональні співвідношення конструктивно-режимних параметрів розробленого змішувача. Проведено дослідження розробленої конструкції з точки зору охорони праці. В п'ятому розділі виконано економічну оцінку розробленого змішувача комбікорму. На завершення сформульовано загальні висновки, складено бібліографічний список та оформлено додатки.

**Ключові слова:** сипкі корми, змішувач, гвинт, потужність, однорідність змішування, питома енергоємність, питоми експлуатаційні витрати.

## ЗМІСТ

Вступ	7
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ	9
1.1 Технології приготування кормів в умовах господарств	9
1.2 Класифікація змішувачів комбікормів	25
1.3 Аналіз параметрів і способів оцінки однорідності змішування	36
1.4 Висновки по розділу	39
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШНЕКОВОГО ЗМІШУВАЧА	41
2.1 Теоретичне обґрунтування схеми змішувача	41
2.2 Продуктивність шнекового змішувача	47
2.3 Потужність на привід шнекового змішувача	53
2.4 Висновки по розділу	56
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЗРАЗКА ШНЕКОВОГО ЗМІШУВАЧА	58
3.1 Програма експериментальних досліджень	58
3.2 Методика експериментальних досліджень	58
3.3 Результати експериментальних досліджень	61
3.4 Висновки по розділу	66
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	68
4.1 Загальні вимоги	68
4.2 Розробка проекту інструкції з охорони праці при роботі зі змішувачем комбікорму	69

4.3	Правила поведінки в надзвичайній ситуації	71
4.4	Висновки по розділу	72
5	ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА	73
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	77
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	79
	ДОДАТКИ	

## ВСТУП

У структурі тваринницької продукції до 50-70% всіх припадає на частку кормів. Ці витрати можна суттєво зменшити, якщо готувати корми не на великих спеціалізованих заводах, а безпосередньо на внутрішньогосподарських підприємствах, використовуючи власну сировину і мінімізуючи транспортні витрати. Крім того, в цьому випадку забезпечується можливість оперативного контролю за ходом технологічного процесу приготування кормів та внесення необхідних коректив в роботу технологічного обладнання.

Для ефективної роботи такого підприємства необхідно обладнання, яке в повній мірі задовольняє вимогам ресурсозбереження при гарантованому забезпечення необхідної якості продукції. Крім того, в умовах сьогодення дуже гостро стоїть питання щодо вартості обладнання. Особливо це стосується фермерських та селянських господарств з їх обмеженими фінансовими можливостями.

Відомі два способи отримання сумішей сипучих компонентів – періодичний і безперервний. При періодичному способі змішування цикл роботи змішувача складається з завантаження компонентів, їх змішування і вивантаження суміші. При безперервному способі матеріали, що змішуються безперервно подаються в змішувач і безперервно з нього виводяться. Якість суміші в обох випадках залежить від тривалості часу знаходження матеріалів у змішувачі.

При першому способі можливе отримання суміші високої якості за рахунок багаторазової циркуляції матеріалів всередині змішувача, що можна здійснити, наприклад, в шнековому змішувачі. При другому способі якість суміші багато в чому залежить від точності роботи дозаторів і живильників, які по конструкції часто складніше змішувача. При одноразовому проходженні матеріалів через змішувач безперервної дії якість суміші не завжди відповідає поставленим вимогам, тому необхідно застосування, наприклад, каскаду змішувачів, або організації зворотних перетоків матеріалів, що представляється досить складною технічною задачею.



Як свідчить досвід, періодичний спосіб змішування сипучих матеріалів є кращим, так як забезпечує високу якість суміші за рахунок циркуляції матеріалів всередині змішувача, але для цього способу є актуальними питання зменшення енерговитрат на приготування суміші і зниження вартості використовуваного обладнання.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності змішування сипких компонентів комбікормів шляхом удосконалення конструкції вертикального шнекового змішувача періодичної дії.

Завдання досліджень:

- обґрунтувати перспективну конструктивно-технологічну схему вертикального шнекового змішувача комбікормів зі зниженими питомими енерговитратами за збереження якості відповідно до зоотехнічних вимог;

- провести теоретичні дослідження технологічного процесу запропонованого вертикального шнекового змішувача з обґрунтуванням його основних конструктивно-технологічних та режимних параметрів;

- виконати експериментальні дослідження якості та енерговитрат технологічного процесу змішувача та оптимізації його конструктивно-технологічних та режимних параметрів;

- провести аналіз розробленого вертикального шнекового змішувача з точки зору охорони праці;

- виконати техніко-економічну оцінку оптимізованої конструкції вертикального шнекового змішувача.

**Об'єкт дослідження** - процес змішування сипких кормів в вертикальному шнековому змішувачі.

**Предмет дослідження** - залежності процесу сипких сипучих кормів в порціонному вертикальному шнековому змішувачі.

**Методи дослідження.** При вирішенні поставлених завдань в дипломній роботі застосовувався експериментально-аналітичний метод досліджень з використанням теорії ймовірностей, математичної статистики, математичного моделювання, теорії подібності.

## 1 Аналіз стану питання

### 1.1 Технології приготування кормів в умовах господарств

Тваринницька галузь сільського господарства є основним споживачем кормів. При цьому, оскільки один вид корму не містить повного набору необхідних для тварин поживних речовин, вітамінів і мікроелементів, згодовування окремих видів кормів призводить до того, що тварини повільно розвиваються. Віддача від них знижується, зростають витрати на одиницю виробленої продукції і, в кінцевому підсумку, знижується рентабельність виробництва. В середньому витрата кормів на одержання 1 ц молока перевищує витрати праці в 1,5 рази, м'яса великої рогатої худоби (ВРХ) - в 2,5 рази, свиней - в 2,0 рази, птиці - в 1,3 рази. І лише якісні корми забезпечують доставку в організм тварини, корисних речовин в необхідних кількостях і співвідношеннях, що дозволяє на 15-20 % підвищити продуктивність тварин порівняно з використанням кормосумішей, співвідносних з ними за загальною поживністю.

Організація повноцінної годівлі тварин ґрунтується на знанні їх потреби в різних поживних речовин, вітамінах, мінеральних речовини та цінності певного корму для тварин. Нестача загальної енергії в раціоні знижує темпи зростання молодняку та продуктивність дорослих тварин. Нормована годівля дозволяє раціонально використовувати корми, максимально збільшувати продуктивність тварин при одночасному зниженні витрат кормів на одиницю продукції. Недостатня годівля тварин знижує їхню продуктивність, плодючість, спостерігається затримка росту молодняку.

При надмірній годівлі відзначається ожиріння тварин та зниження їх відтворювальних функцій. При нормованій годівлі в сухій речовині раціону різних тварин має бути суворо певна кількість енергії, поживних і біологічно активних речовин. Тому головним фактором підвищення ефективності тваринництва у

фермерському господарстві є створення збалансованої кормової бази, відповідає сучасним науковим та практичним вимогам виробництва тваринницької продукції.

Необхідно враховувати, що ефективне використання кормів значною мірою залежить від якості їхньої підготовки до згодовування. Жоден вид корму не містить повного набору необхідних для тварин поживних речовин, вітамінів та мікроелементів, і не завжди реалізується можливість засвоєння цих поживних речовин. Неоптимальне співвідношення поживних компонентів у раціоні тварин за елементами веде до зниження середньодобового їх приросту маси на 30-35 % та збільшення витрат корму на одиницю продукції на 50 %. В середньому витрата кормів отримання 1 ц молока перевищує витрати на 1,5 рази, м'яса великої рогатої худоби (ВРХ) – у 2,5 рази, свиней – у 2,0 рази, птиці – у 1,3 рази.

Якісні корми забезпечують доставку в організм тварини, корисних речовин у необхідних кількостях та співвідношеннях, що дозволяє на 15-20% підвищити продуктивність тварин у порівнянні з використанням кормосумішей, порівнянних з ними за загальною поживністю. Збалансовані комбікорми тільки за білком, вуглеводами та жирами збільшують продуктивність тварин на 10 – 12 %, а при включенні біологічно активних речовин їх ефективність збільшується на 25 – 50 %.

У структурі раціонів великої рогатої худоби концентровані корми становлять до 35%, свиней та птиці відповідно – до 90-95%. Тому вартісні та якісні показники комбікорму відіграють основну роль у кінцевих результатах виробництва продукції тваринництва.

Найбільш популярними при годівлі сільськогосподарських тварин є комбікорми. Комбікорми – однорідна суміш подрібнених до необхідного розміру різних кормових засобів та мікродобавок, що складається за науково обґрунтованими рецептами, що забезпечує збалансоване за всіма елементами годівлю

тварин. Комбікорми дозволяють оптимізувати раціони з енергії, протеїну, макро- та мікроелементів, вітамінів та інших біологічно активних речовин відповідно до норм годівлі тварин. Види випуску комбікорму:

- брикетований. Найзручніший для транспортування. Брикети не займають багато місця і не псуються під час перевезення. Довго зберігаються.

- гранульований. Перевага полягає в економії трудового ресурсу при годівлі, оскільки гранули не потребують додаткової обробки. Зручний при відгодівлі.

- розсипний. Головна перевага – тривалий термін зберігання. Однак його важко перевозити та складувати. Згодом, через природне розшарування порошкового складу, тварини можуть отруїтися.

- крупка. Виготовляють шляхом подрібнення гранул комбікорму до частинок заданого розміру. На відміну від розсипу, з якого його часто плутають, крупка як роздроблена, змішана, а й термічно оброблена. При її поїданні тварини одержують всі компоненти, що входять до складу комбікорму.

Залежно від призначення розрізняють повнораціонні комбікорми, комбікорми-концентрати, балансуєчі кормові добавки – білковітамініні, мінеральні та премікси. Як наповнювач використовують соєвий або соняшниковий шрот, кормові дріжджі, висівки пшеничні, овес, ячмінь та зерно пшениці тонкого помелу. Норма введення преміксів, що виробляються спеціалізованими підприємствами – 10 кг на 1 т комбікорму (1% за масою).

Для забезпечення повноцінної годівлі великої рогатої худоби до добового раціону включаються комбікорми-концентрати або повноцінні комбікорми. При звичайному надої їхня частка становить 300-350 г на 1 кг молока, а при високому - доводиться до 500 г на 1 кг молока. До складу комбікормів входить до 14 основних компонентів та до 50 інших, включаючи мікроелементи.

Залежно від індивідуальних потреб різних видів і статево-вікових груп тварин, ці компоненти повинні бути після відповідного подрібнення рівномірно

змішані у певних вагових пропорціях на основі науково обґрунтованих рецептів. Крім того, у вироблених кормах відзначається значний дефіцит протеїну. Для кожного виду та породи у різні вікові періоди необхідний певний обсяг поживних речовин. Рецептатура корму розробляється для конкретного виду, породи та віку. Склад корму підбирають виходячи з режиму годівлі. Прийнято розділяти схему на 3 частини: основна годівля (будь-який час доби та у будь-якому дозуванні); балансуєча годівля (поповнення нестачі протеїнів та інших поживних елементів); концентрована годівля (як доповнення до основного раціону).

Для пресування необхідно застосування додаткового енергоємного обладнання гранулювання чи брикетування комбікорму, а також додаткові фінансові витрати. Тому гранулювання можуть дозволити тільки відносно великі виробництва. У невеликих фермерських господарствах, зазвичай, немає потреби у тривалому зберіганні приготовленого корму, і навіть транспортування їх у великі відстані. Вважаються недоброякісними та непридатними до використання комбіновані корми, що мають затхлий пліснявий, гнильний та інші запахи, не властиві даним продуктам. Недотримання умов та термінів перевезення та зберігання готових комбікормів, особливо збагачених різними мікродобавками, є одним із важливих факторів ураження їх мікотоксинами.

Виходячи з вище сказаного для підвищення ефективності підвищення отримання продукції тваринництва у невеликих фермерських господарствах необхідно виробництво та використання сухих розсипних комбікормів безпосередньо у господарствах з урахуванням місцевих кормових ресурсів.

У структурі раціонів великої рогатої худоби концентровані корми складають до 35 %, свиней і птиці відповідно до 90-95 %. Раніше виробництво комбікормів у країні було зосереджено на великих спеціалізованих заводах, які готували корми для різних видів і вікових груп тварин за стандартним рецептами.

Слід зазначити, що існуюча мережа таких підприємств все ж не повністю забезпечувала потребу тваринництва в комбікормах.

Істотну частку витрат становили транспортні витрати на перевезення компонентів сировини та готового корму, а вироблені комбікормовими підприємствами корми не завжди відповідали необхідним показниками якості. Тому виробництво комбікормів почало концентруватися в господарствах. Однак специфіка сільськогосподарського виробництва накладає певний відбиток на характер функціонування внутрішньогосподарського підприємства з приготування кормів.

Перш все, це спеціалізація тваринницької ферми господарства, видовий і віковий склад тварин який визначає можливий набір компонентів майбутньої кормосуміші, а типорозмір - обсяги заготівлі вихідних компонентів і годинну продуктивність технологічних ліній внутрішньогосподарського підприємства. Раніше виконані дослідження показують, що фактична необхідна годинна продуктивність технологічних ліній з приготування повнораціонних кормосумішей для молочно-товарних ферм, розрахована на основі рекомендованих для умов південних регіонів раціонів годівлі, змінюється в досить широкому діапазоні значень.

Наприклад, необхідна годинна продуктивність лінії підготовки зернових компонентів зростає з 80 кг/годину в цеху, що обслуговує ферму на 100 корів, до 600 кг/год при обслуговуванні ферми на 800 корів, лінії приготування комбікорму - відповідно з 120 до 960 кг/год. Крім цього, відмінності в раціонах годівлі різних вікових груп тварин ферми обумовлюють необхідність частої і оперативної перебудови технологічного процесу на виробництво корму необхідної рецептури і реальну можливість її реалізації в умовах внутрішньогосподарського підприємства.

Важливою складовою собівартості корму є, як відомо, вартість використуваних у ньому компонентів. Тому приготування кормів повинна в максимальному ступені базуватися на виробленій і наявній в господарстві сировині

(зерно злакових і олійних культур, білкові компоненти, мінеральні компоненти). У зв'язку з цим, для ефективного використання наявної сировини часто виникає необхідність балансування корму поживними добавками, при введенні в раціон значної кількості ячменю або жита. Нерідко в господарстві виникає необхідність балансування корми лікарськими препаратами, оскільки наявні добавки промислового виготовлення не завжди задовольняють потреби обслуговуваного поголів'я тварин. Наявність в технологічній схемі внутрішньогосподарського підприємства устаткування, що дозволяє здійснити цю операцію, досить характерна ознака завершеності його технологічного процесу.

Разом з тим слід зазначити, що ніякі особливості специфіки господарства та його сировинної бази не повинні порушувати принципів неухильного дотримання нормативних вимог до забезпеченості раціонів обмінною енергією, сухою речовиною та іншими поживними речовинами. Цьому в чималому ступені сприяє можливість оперативного контролю якості за ходом технологічних операцій та внесення відповідних коректив у роботу технологічного обладнання вже на стадії приготування корму, легко реалізується в умовах внутрішньогосподарського підприємства. Нарешті, важливим фактором, що визначає в кінцевому підсумку і собівартість корму, є показники використовуваного в складі технологічних ліній внутрішньогосподарського підприємства комплексу технічних засобів. Для ефективної роботи такого підприємства компоновка обладнання його технологічних ліній повинна здійснюватися по блочно-модульним принципом, що зводить до мінімуму допоміжні передавальні (транспортні) операції що забезпечує можливість швидкої зміни режиму його роботи. Саме ж обладнання повинно відповідати вимогам ресурсозбереження при гарантованому забезпеченні необхідної якості продукції.

В сучасному тваринництві годівлю тварин здійснюють повнораціонними комбікормами, які представляють собою сипкий або гранульований корм, який складається із рослинних, тваринних, біологічно активних компонентів та мінералів, збалансований за всіма необхідними показниками. Він застосовується як готовий основний корм у годівлі свиней і не потребує додаткового збагачення

чи балансування іншими компонентами. Основною складовою сучасних повнораціонних комбікормів є зернові (пшениця, ячмінь, кукурудза).

Розглянемо технологічний процес приготування розсипного повнораціонного комбікорму (рис. 1.1) з використанням МКУ. Щодо основних операцій, то **підготовка компонентів** включає в себе, в першу чергу, подрібнення з попереднім (для зернової складової) очищенням від механічних домішок. Визначними показниками процесу подрібнення є однорідність, яка характеризується відсотковим співвідношенням фракційного складу отриманого продукту та питома енергоємність процесу – витрати енергії на отримання одиниці продукції.

**Дозування компонентів** перед змішуванням забезпечує відповідність комбікорму рецептурі, тому його точність визначає якість готового комбікорму. На сьогодні застосовують вагове дозування, як більш досконале, в порівнянні з об'ємним.

Для **змішування компонентів** в МКУ використовують змішувачі періодичної дії, які розрізняються між собою за конструкцією робочих органів. Визначними показниками процесу змішування є однорідність отриманого комбікорму, яка визначається ступенем перерозподілу компоненту з найменшого вмісту та питома енергоємність процесу.

Треба сказати, що на рис. 1.1 приведена схема ілюструє одностадійне змішування. За необхідності кормоприготувальне відділення з МКУ додатково обладнують малим змішувачем, за допомогою якого проводять попереднє змішування маловмісних компонентів з одною з підготовлених зернових складових. Отримана таким чином суміш подається до основного змішувача. Змішування в дві стадії (двостадійне змішування) забезпечує вищу якість перерозподілу маловмісного компонента в комбікормі та зменшує час роботи основного змішувача.



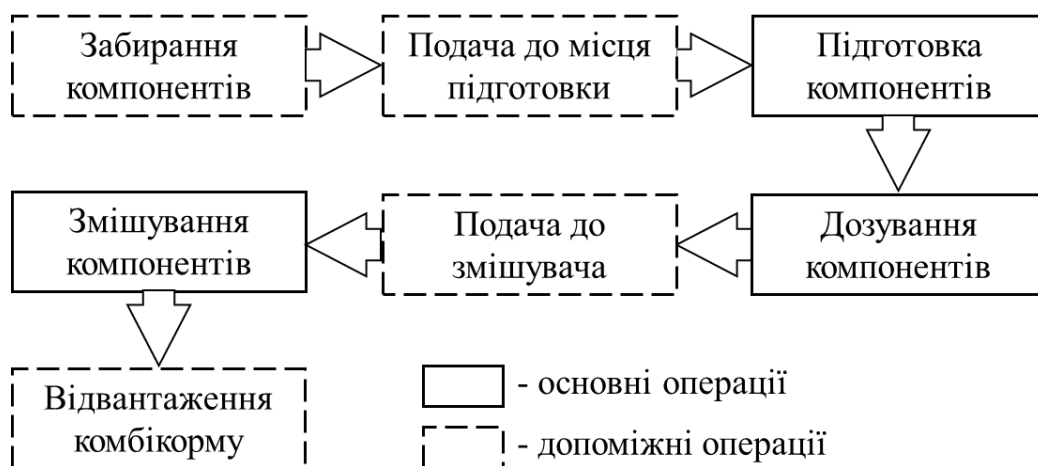


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу приготування розсипного комбікорму

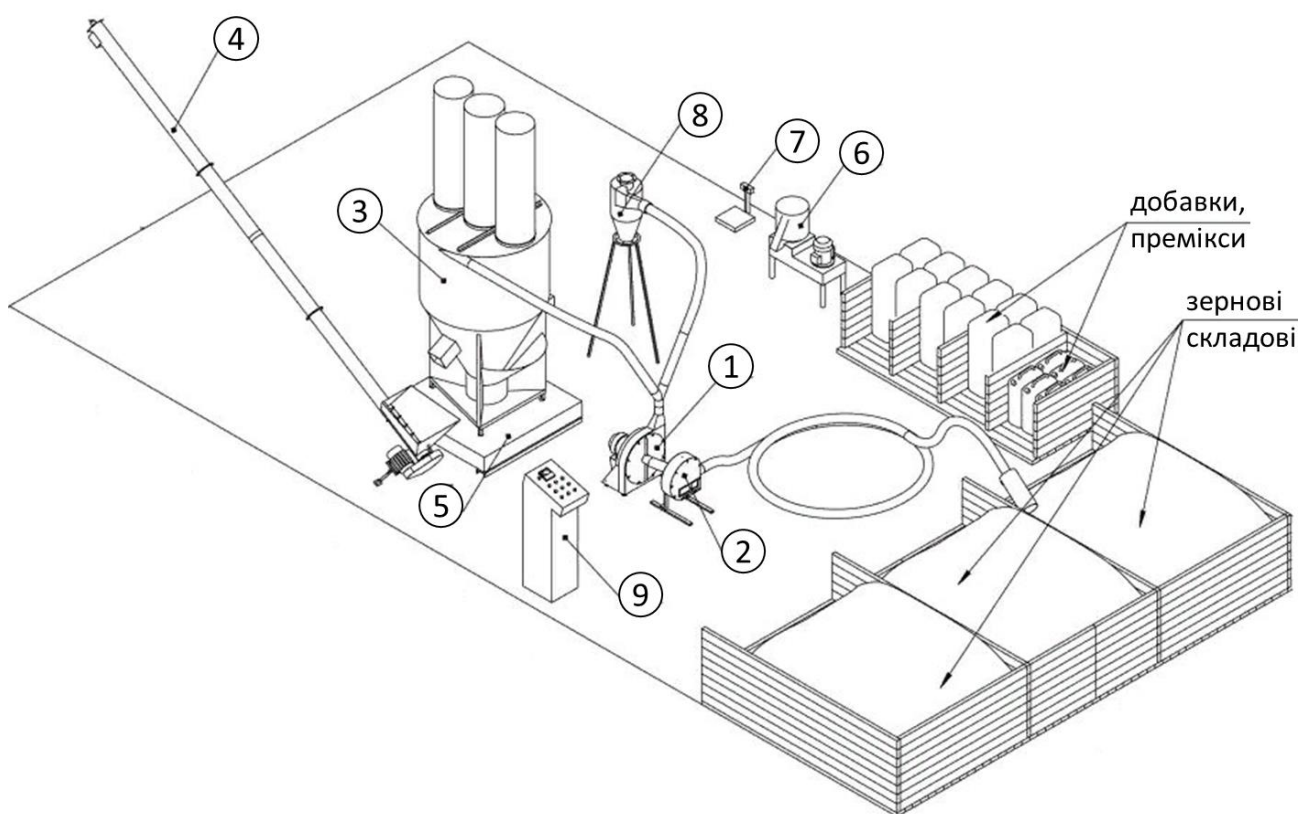


Рисунок 1.2 - Схема компоновання відділення з приготування комбікорму

Розглянемо компонування кормоприготувального відділення та його роботу з використанням малогабаритної комбікормової установки ККУ-1, виробництва ТОВ «Дозамех Україна» (рис. 1.2) [16].

Фуражне зерно забирається ежектором з місця зберігання за допомогою розрідження, яке створює вентилятор дробарки, по гнучкому шлангу (до 10 метрів у довжину) поступає в сепаратор (рис. 1.3), де відділяються металомагнітні домішки, каміння та пісок. Після сепаратора, тим же потоком повітря, зерно подається у дробарку (рис. 1.4), подрібнюється до встановленого розміру та транспортується до змішувача (рис. 1.5). Змішувач встановлено на механічних або електронних вагах, на яких встановлюється вага завантаження кожного компоненту. Завантаження компонентів до змішувача здійснюють по чергово, про досягнення встановленої ваги сповіщає світлова та звукова сигналізація.

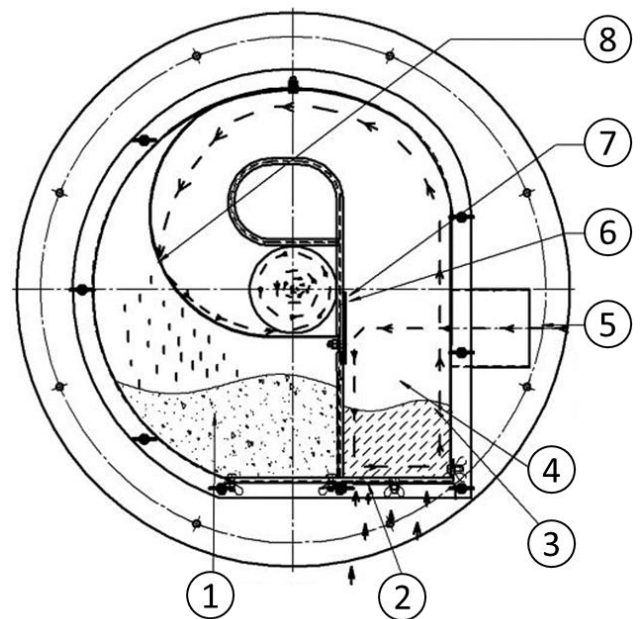


Рисунок 1.3 – Сепаратор-очисник зерна: 1 – пісок; 2 – повітряна засувка; 3 – каміння; 4 – робоча камера; 5 – вхід продукту; 6 – магнітна пластина; 7 – металомагнітні домішки; 8 – сітка

Після завантаження чергового компонента ваги перелаштовуються, компоненти комбікорму, які не потребують подрібнення, завантажують до змішувача через приймальну горловину вручну. Система дозування обладнана електронними вагами може бути автоматизована – до контролера зважування вводиться рецепт комбікорма і після завантаження чергового компонента перелаштовувати ваги не потрібно. По завантаженню всіх компонентів комбікорму проводиться їх змішування. Відвантаження готового комбікорму здійснюється через патрубок в приймальний бункер вивантажувального шнека (до 14 метрів у довжину) у транспортний засіб або накопичувальну ємність.

Треба зазначити, що змішувач в приведеній конструкції МКУ виконує роль циклона – розділяє повітряно-кормову суміш. Вказана суміш поступає до бункера змішувача по дотичній, корм притискається відцентровими силами до стінок бункера, за рахунок цього загальмовується і зсипається в низ. Відділене повітря видаляється через фільтри-пилосбірники, встановлені у верхній частині бункера змішувача.

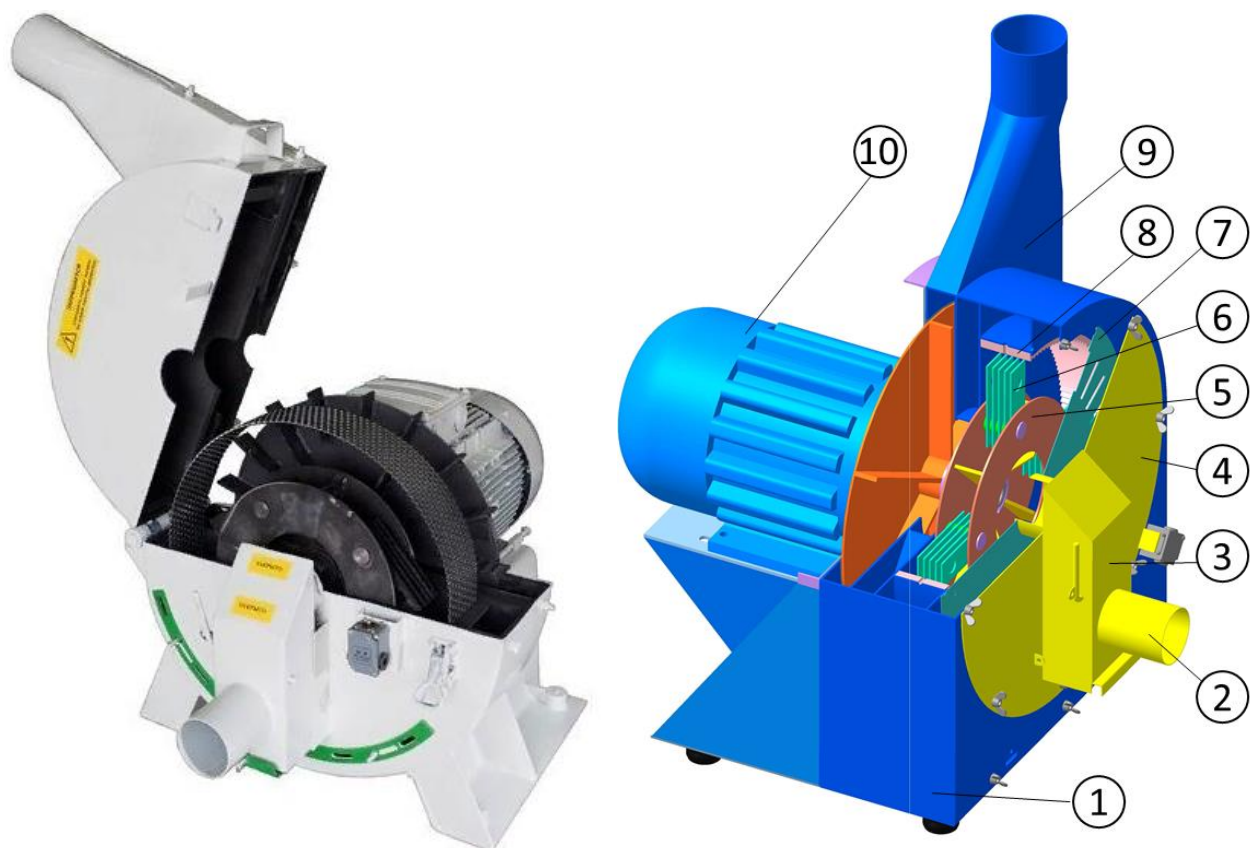


Рисунок 1.4 – Молоткова дробарка для зерна з пневмозавантаженням

Сепаратор для попередньої очистки зерна в потоці працює наступним чином. Зерно, всмоктується ежектором, транспортується повітряним потоком, потрапляє в камеру сепаратора, ударяється об магніт, який відділяє металомангнітні домішки. Під дією сили тяжіння опускається в нижню частину камери сепаратора, в якій встановлено регульовану повітряну засувку, через яку здійснюється підсмоктування повітря. Важкі домішки (каміння) збираються внизу камери, а легше зерно та пісок підхоплюються потоком повітря і подаються на сітку, де пісок відділяється. Очищене зерно по гнучкому шлангу подається до дробарки. Дана конструкція сепаратора призначена для роботи з пневмо-всмоктуючими молотковими дробарками.

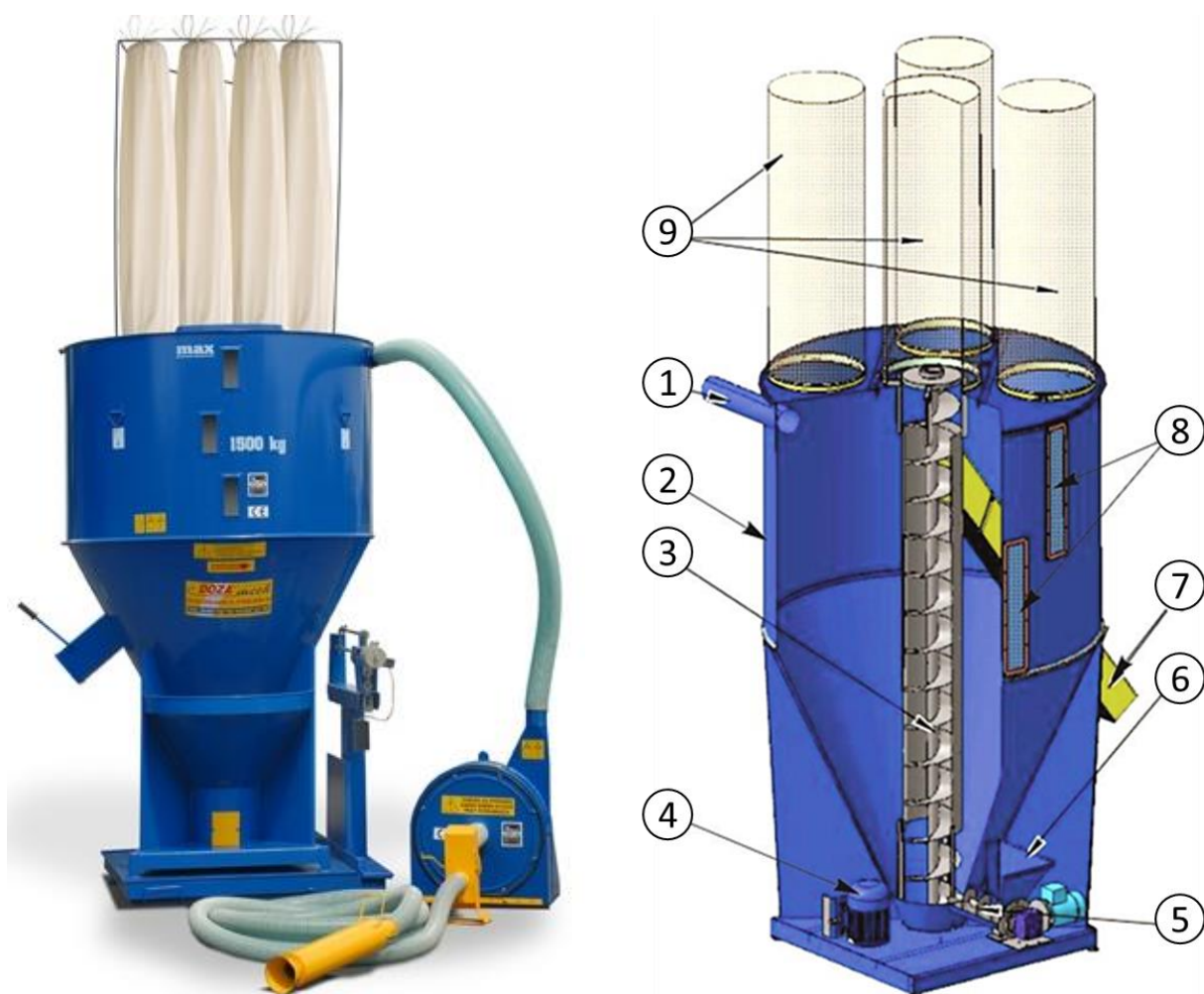


Рисунок 1.5 - Змішувач шнековий вертикальний

В змішувачі, а в даному випадку це вертикальний шнековий змішувач, компоненти комбікорму перемішуються завдяки створенню їх циркуляційного руху за допомогою змішувального шнека. В нижній і верхній частині труби шнека є вікна – через нижнє компоненти забираються, транспортуються шнеком вгору і висипаються у верхнє вікно. По завершенню циклу змішування відкривають засувку вивантажувального патрубку, комбікорм підіймається змішувальним шнеком по трубі і самопливом висипається через патрубок. Цикл змішування такого – до 20 хвилин, однорідність змішування – 85...90 %.

Треба сказати, що переважаюча більшість МКУ скомпоновані за описаною вище схемою, основні відмінності – тип змішувача. Наприклад АТ «Хорольський механічний завод» випускає малогабаритні комбікормові установки (рис. 1.6) серії МКУ (МКУ-0,7; 1,5; 3) [17], які укомплектовано протитечійними (стрічковими) горизонтальними змішувачами періодичної дії. Робочий орган такого змішувача являє собою вал, на якому розташовані чотири лопаті-спіралі: дві внутрішні і дві зовнішні, з протилежною навивкою (рис. 1.7, а) [17]. Зовнішня навивка переміщує матеріал в одну сторону, внутрішні в протилежну сторону, в результаті цього відбувається взаємопроникнення шарів корму один в одного.

В цілому, робота установок типу МКУ аналогічна до описаної раніше, відмінність в процесі дозування компонентів - в комплектації установки передбачено додатково ваговий бункер, який, також, виконує функцію циклона.

Крім вертикальних шнекових та горизонтальних стрічкових в малогабаритних комбікормових установках застосовують лопатеві змішувачі горизонтального [18] та вертикального компонування. Перші – в якості основних, другі – для приготування преміксів (рис 1.7, 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 матеріалоемність, а, отже, і вартість.

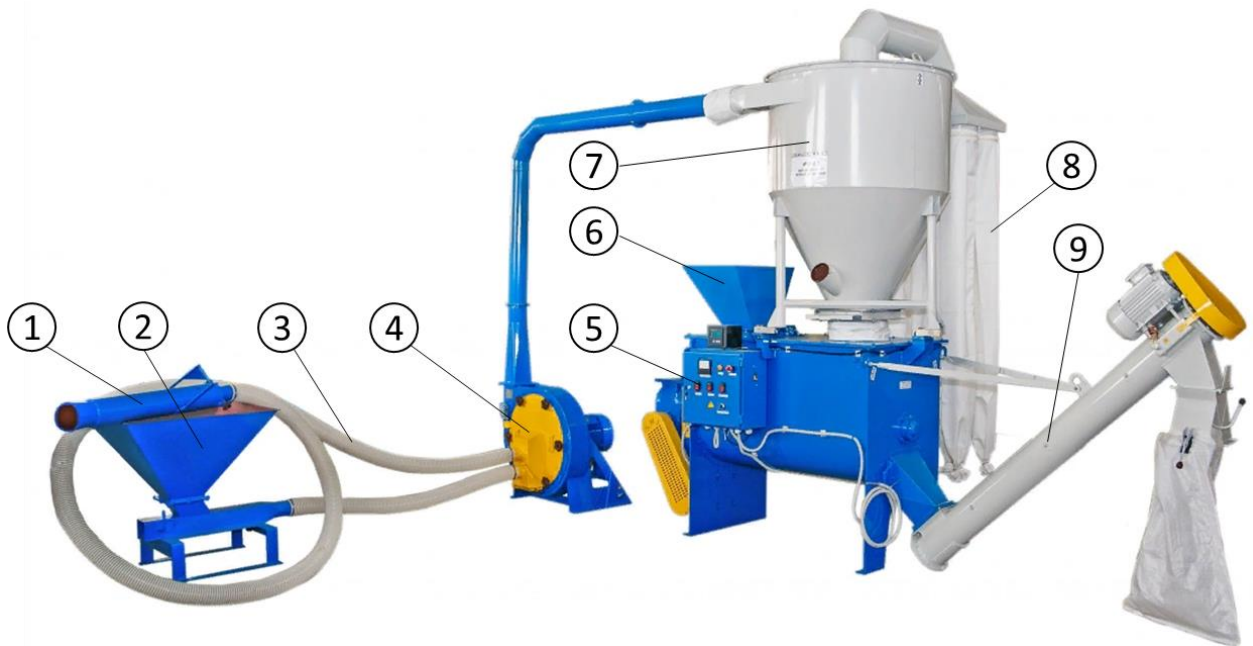


Рисунок 1.6 – Малогабаритна комбікормова установка МКУ-0,7: 1 – ежектор; 2 – бункер завантаження затарених компонентів, які потребують подрібнення; 3 – гнучкий шланг; 4 – молоткова дробарка; 5 – блок керування роботою; 6 – горловина завантаження преміксів; 7 – ваговий бункер-циклон; 8 – фільтри-пилловловлювачі; 9 – відвантажувальний шнековий транспортер

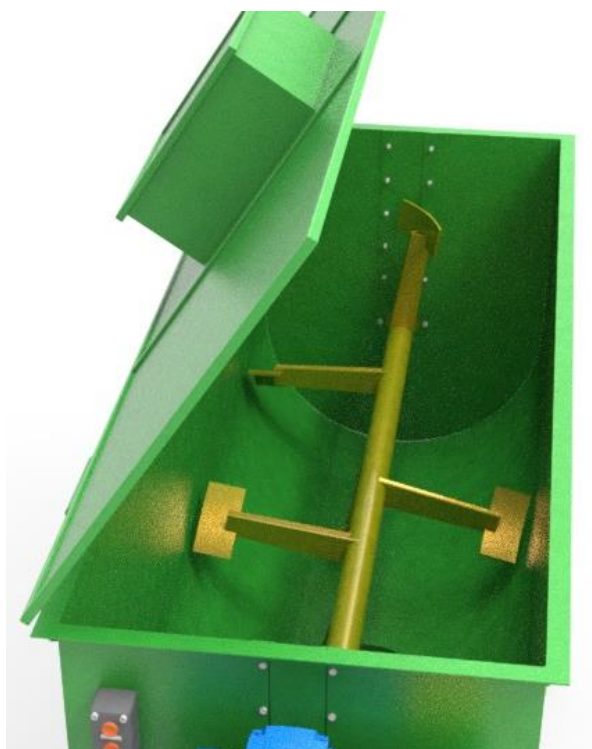
Таж сама фірма «SKIOLD» пропонує споживачам діагональні змішувачі серії UNI-MIX [20], які є різновидом шнекових змішувачів (рис. 1.9). За даними виробника особливістю цих змішувачів є вища однорідність змішування, в порівнянні з вертикальним шнековим та можливість введення до 6 % рідких компонентів (олія, жир). При цьому похиле розміщення шнека дозволяє дещо зменшити енергоємність процесу змішування.



а



б



в



г

Рисунок 1.7 – Робочі органи змішувачів: а - горизонтальний стрічковий; б – горизонтальний лопатевий двоваловий; в – горизонтальний лопатевий од- новаловий; г – вертикальний лопатевий



Рисунок 1.8 – Дисковий подрібнювач зерна

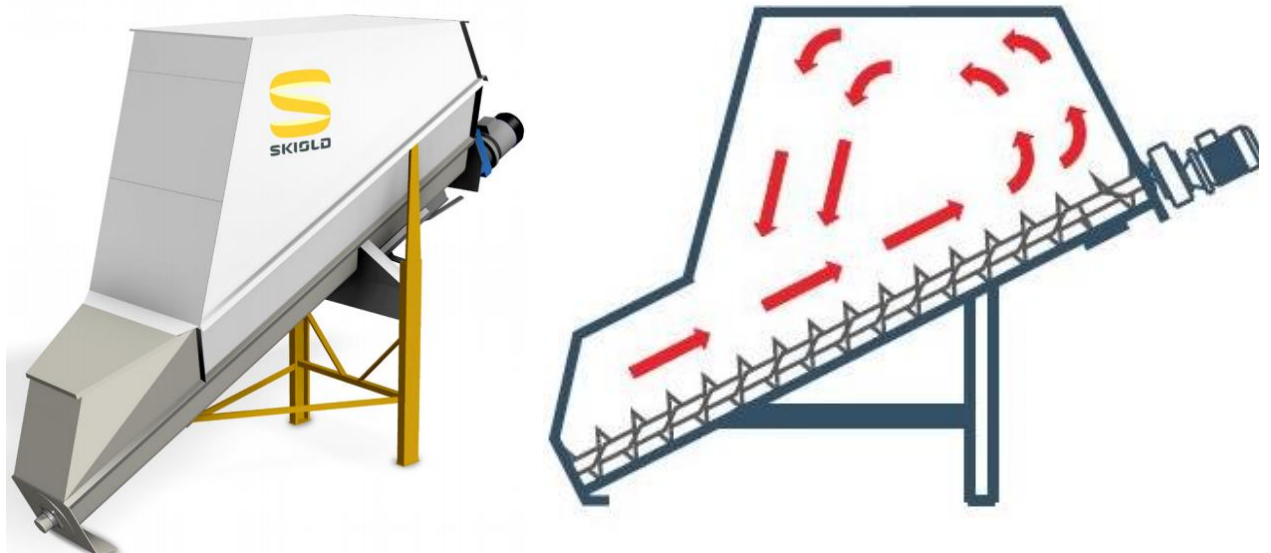


Рисунок 1.9 – Діагональний шнековий змішувач комбікорму

Закордонні виробники, крім приведених вище конструктивних рішень елементів комбікормових установок, пропонують оригінальні нові машини.



В останні роки в країнах ЄС широкого використання знайшли мобільні комбікормові агрегати (МКА).



а



б

Рисунок 1.10 - Загальний вигляд МКА Tourmix-03 (а) та RGMA 3500 (б)

МКА представляє з себе багатофункціональну малогабаритну комбікормову установку з високим рівнем автоматизації, змонтовану на шасі вантажного автомобіля або причіпного візка.

Як було сказано вище МКА реалізуються в самохідному (Tourmix-03 фірми Buschhoff, Німеччина [23]) або причіпному виконанні (RGMA 3500 фірми Riela, Німеччина [24]).

На відміну від малогабаритних комбікормових установок, комплектація МКА більш різноманітна (наприклад, крім дробарки, є валкова плющилка), що, в залежності від потреб, дає змогу готувати повнораціонні комбікорми на основі не подрібненого та подрібненого зерна, проводити подрібнення або плющення сировини без подальшої обробки, готувати комбікорм з додаванням рідких компонентів, вивантажувати готовий продукт на підлогу або до бункера накопичувача.

Якщо говорити про ефективність використання МКА, то можна виділити наступні позитивні сторони:

- в порівнянні з сторонньою переробкою - зменшення собівартості кормів;
- в порівнянні з власною переробкою малогабаритними комбікормовими установками – вища якість комбікорму (за рахунок вищого технічного рівня реалізації процесу та вузької спеціалізації оператора), зменшення капіталовкладень та витрат праці.

## **1.2 Класифікація змішувачів комбікормів**

Змішувачі безперервної дії відрізняються тим, що процеси завантаження, змішування і вивантаження суміші здійснюється безперервно. Ці змішувачі мають порівняно більшу продуктивність, однак не можуть забезпечити виконання вимог однорідності суміші. Недоліком даного типу змішувачів є також висока витрата енергії на теплову обробку кормосуміші.

Змішувачі періодичної дії відрізняються тим, що процеси завантаження, змішування і вивантаження відбуваються циклічно, що зменшує їх продуктивність. Але ці змішувачі при цьому забезпечують можливість приготування кормосуміші необхідної якості за досить короткий термін.

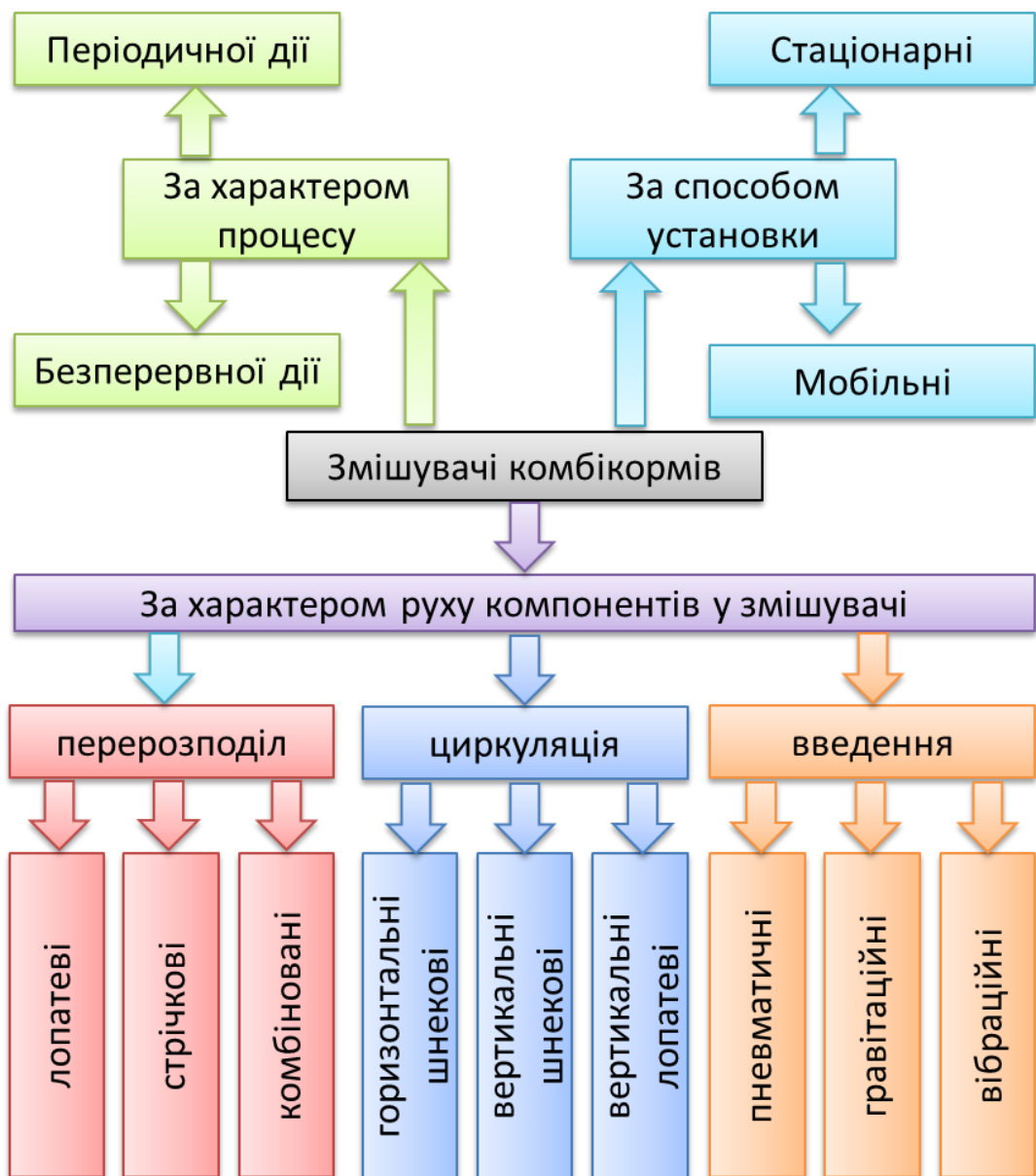


Рисунок 1.11 – Класифікація змішувачів кормів

Крім того, вони можуть змішувати компоненти, які розрізняються і по розмірами і по фізичним властивостям.

За способом установки змішувачі поділяють на стаціонарні і пересувні. Змішувачі першої групи встановлюють, як правило, в кормоцехах, змішувачі другої групи монтують на пересувних установках, які дозволяють проводити змішування поза приміщенням кормоцеху за запитами споживачів.

За видом переміщення матеріалів всередині бункера змішувачі поділяють на: введення, перерозподіл та циркуляція. В змішувачах першої групи частинки одного компонента вводяться у зазори між частками інших компонентів, що може відбуватися під тиском повітря, сили гравітації або впливу вібрації. Установки, використовують тиск повітря для перемішування компонентів, забезпечують хорошу якість при виробництві розсипчастих кормосумішей і сухих комбікормів [3]. До представників змішувачів другої групи відноситься змішувач фірми «Miaг» [4]. Преревагою цього змішувача є простота конструкції, невеликі енерговитрати і досить високий показник якості змішування.

Однак у цієї установки є і серйозні недоліки:

- в результаті великого числа пересипань матеріалів усередині бункера може відбуватися сегрегація окремих компонентів;
- при змішуванні зволжених кормів спостерігається їх налипання на стінки бункера.

Змішувачі вібраційної дії застосовують, як правило, для отримання сухих кормосумішей.

Для приготування кормів тваринам у нашій країні та за кордоном знайшли застосування змішувачі кормів, як серійно, так і окремі зразки, виготовлені аспірантами та здобувачами вузів, конструкторських бюро, а також фахівцями та раціоналізаторами господарств. Різноманітність цих пристроїв пов'язана з різними зоотехнічними вимогами до процесу змішування для різних видів та вікових груп тварин, різноманітністю зональних особливостей кормів та їх фізико-механічних властивостей, розмірами та призначенням кормопідготовчого обладнання, а також пошуком раціональної конструкцією машини, яка своїм показникам якості найбільш повно відповідала б зоотехнічним та техніко-економічним вимогам.

Для виявлення напряму вдосконалення існуючих змішувачів кормів розглянемо класифікацію та проведемо аналіз найбільш типових конструкцій та-

ких машин. З урахуванням раніше розроблених класифікацій змішувачів за показниками найбільшого впливу на якість суміші та енергоємність процесу їх доцільно класифікувати за такими основними ознаками (рис. 1.7): виду кормів; кінематичного режиму; характеру змішування; конструктивною ознакою; конструктивного виконання бункера; за кількістю валів, що змішують; розташування робочого органу; способу змішування; по виду руху компонентів, що змішуються; за типом робочого органу.

За способом дислокації змішувачі поділяють на стаціонарні та пересувні. Змішувачі першої групи встановлюють, як правило, в кормоцехах, змішувачі другої групи монтуєть на пересувних установках, які дозволяють проводити змішування поза приміщенням кормоцеху за запитами споживачів.

За характером процесу змішування основні типи змішувачів для виробництва сухих розсипних сумішей: безперервної та періодичної дії. У змішувачах безперервної дії вихідні компоненти подаються постійно, проходячи процес переміщення від місця завантаження до місцю вивантаження. Використання таких змішувачів потребує точного дозування компонентів для отримання готового продукту високої якості.

Дослідження закономірностей процесу змішування у таких змішувачах викликає складності через похибки допоміжного обладнання. Змішувачі періодичної дії працюють за встановленими циклами, що включають завантаження вихідних компонентів суміші, перемішування, вивантаження. Змішувачі періодичної дії також поділяються за принципом впливу на матеріал, що перемішується: гравітаційної та примусової дії.

Змішувачі примусової дії оснащені змішувальними робочими органами, які, впливаючи на масу вихідних компонентів, здійснюють їх перерозподіл. Застосування змішувачів періодичної дії є вигідним при годівлі невеликої кількості тварин в умовах фермерських господарств. Застосування таких змішувачів

підвищує якість змішування, що позначається на продуктивності тварин.

У змішувачах, що працюють за принципом перерозподілу, матеріали всередині бункера переміщуються хаотично. В якості прикладу таких установок можна назвати змішувачі типу С-7, С-12 [5]. Тривалість змішування в таких пристроях залежить від швидкості утворення поверхонь зрушення в матеріалах, що змішуються. Ці змішувачі розвивають продуктивність в діапазоні 4,8...7,1 т/год, але у них коефіцієнт нерівномірності змішування становить 14,2...35,1 %.

У змішувачах циркуляційного дії відбувається інтенсивний процес змішування за рахунок забезпечення можливості багаторазового переміщення матеріалу всередині бункера. Цей процес можна охарактеризувати, як конвективне змішування, коли частинки компонентів переміщуються групами і при цьому безперервно утворюють нові поверхні розділу. Тому ці змішувачі можуть забезпечити будь-яку потрібну якість суміші [6]. Ці змішувачі поділяють на вертикальні і горизонтальні.

Представниками першої групи є змішувачі типу F-928 (ФРН), а також фірми «Саймон-Баррон» (Великобританія). Їх перевагою є порівняно невелика тривалість процесу змішування, крім того такі змішувачі займають незначну площу виробничого приміщення. Порівняно недавно, як в Україні, так і за кордоном на фермах ВРХ знаходять застосування горизонтальні змішувачі – роздавачі з робочим органом у вигляді одного або двох шнеків.

Їх перевагою перед іншими установками є інтенсивна циркуляція матеріалів, внаслідок чого тривалість змішування становить не більше чотирьох хвилин.

Серед шнекових змішувачів періодичної дії вертикального типу найбільше поширення отримали одно- та двошнекові. Ці змішувачі мають ємність бункера від 0,25 до 4,0 т, їх продуктивність досягає до 15 т/год при витраті електроенергії 0,75-1,85 кВт/год на одну тону готової суміші [7].

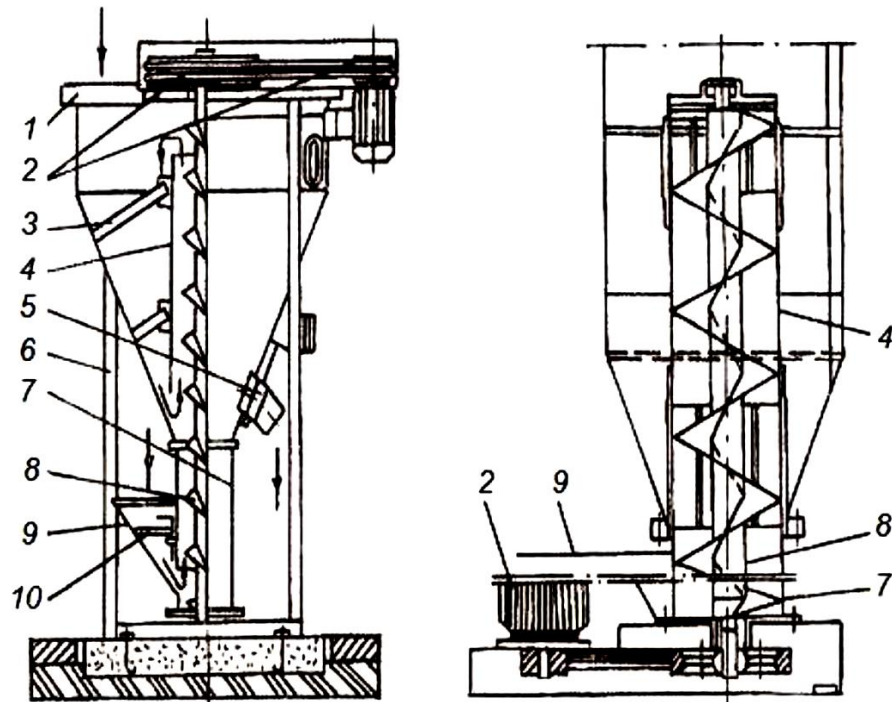


Рисунок 1.12 - Схеми вертикальних шнекових змішувачів а – верхній привід; б – нижній привід: 1 – заслінка; 2 - диск; 3 – фіксатор; 4– кожух шнека; 5 – вивантажувального вікна; 6 – рама; 7 – нижній кожух; 8 – шнек (шнеки); 9 – приймальний бункер; 10 – захисна решітка

Відомо кілька модифікацій змішувачів з одним вертикальним шнеком, які відрізняються по розташуванню приводу і деяким іншим особливостям (рис. 1.12). Вертикальні шнекові змішувачі, як показує аналіз, мають просту конструкцію, зручні в обслуговуванні, забезпечують за рахунок внутрішньої циркуляції високу якість суміші в короткі терміни, займають порівняно невеликі розміри виробничої площі.

У вертикальному шнековому змішувачі типу УСК встановлені два шнека, що обертаються з різними швидкостями, за рахунок чого відбувається інтенсивне перемішування інгредієнтів кормосуміші (рис. 1.13).

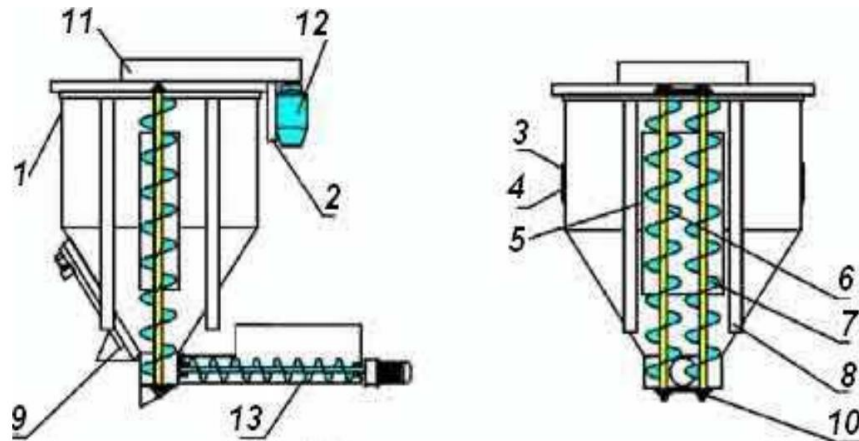


Рисунок 1.13 - Вертикальний змішувач типу УСК: 1 – корпус; 2 – опора приводу шнеків; 3 – оглядове вікно; 4 – люк; 5 – кожух шнеків; 6 – шнек лівий; 7 – шнек правий; 8 – стійка; 9 – вікно з вивантажувальною електроздвижкою; 10 – підшипникові опори; 11 – шків; 12 – електродвигун; 13 – шнек - живильник.

Змішувачі примусового впливу оснащені змішувальними робочими органами, які впливаючи на масу вихідних компонентів, здійснюють їх перерозподіл. Перевага змішувачів примусової дії: висока продуктивність; здатність приготування сумішей різних фізичних характеристик; висока якість перемішування. Недоліки: високе енергоспоживання; складність конструкції; знос робочих органів.

За видом переміщення матеріалів усередині бункера змішувачі поділяють на впровадження, перерозподілу та циркуляційні. У змішувачах першої групи частинки одного компонента впроваджуються в зазори між частинками інших компонентів, які можуть відбуватися під тиском повітря, сили гравітації чи впливу вібрації. Установки, що використовують тиск повітря для перемішування компонентів, забезпечують гарну якість при виробництві розсипчастих кормосумішей та сухих комбікормів, проте при використанні дрібнодисперсних компонентів виникає загроза виникнення пожежі, вибуху. У змішувачах,



що працюють за принципом перерозподілу, матеріали усередині бункера переміщуються хаотично. Тривалість змішування в таких пристроях залежить від швидкості утворення поверхонь зсуву в матеріалах, що змішуються. Ці змішувачі мають продуктивність у діапазоні 4,8...7,1 т/год, вони коефіцієнт нерівномірності змішування становить 14,2...35,1 %. Перевагами є простота конструкції, невеликі енерговитрати та досить висока однорідність суміші. У змішувачів даного типу є недоліки: у результаті великого числа пересипань матеріалів, що змішуються всередині бункера може відбуватися сегрегація окремих компонентів, при змішуванні зволжених кормів спостерігається їх налипання на стінки бункера. У змішувачах циркуляційної дії відбувається інтенсивний процес змішування за рахунок забезпечення можливості багаторазового переміщення матеріалу всередині бункера. Цей процес можна охарактеризувати як конвективне перемішування, коли частинки компонентів рухаються групами і в цьому випадку безперервно формуються нові інтерфейси. Тому ці змішувачі можуть забезпечити будь-яку бажану якість суміші. Ці змішувачі поділяються на вертикальні і горизонтальні. Представники першої групи це змішувачі типу F-928 (Німеччина), а також фірми Simon-Barron (Великобританія). Їх перевагою є порівняно невелика тривалість процесу змішування, крім того, такі міксери займають невелику площу виробничого приміщення.

Ще одним різновидом змішувальних апаратів є молоткові змішувачі, робочим органом яких служать молотки, шарнірно підвішені на роторі, що обертається. Змішування матеріалу в цих пристроях проводиться під дією вільного чи стисненого удару. Характерною особливістю даних апаратів є те, що поряд із змішуванням відбувається інтенсивне подрібнення компонентів, що в залежності від зоотехнічних вимог можна віднести як до переваг, так і недоліків цих машин.

Шнекові змішувачі в залежності від просторового розташування робо-

чого органу поділяються на вертикальні, похилі та горизонтальні. Ця особливість, що визначає спосіб перемішування, надає безпосередній вплив на результат обробки кормової суміші та термін експлуатації самого змішувача. При змішуванні запареної солом'яної січки з концентратами найбільш ефективні робочі органи з вузькими подвійними гвинтовими стрічками, розташованими таким чином, що при обертанні вони викликають протитечії продукту.

Змішувач (рис. 1.9) може використовуватися як для змішування сухих компонентів, і рідин. Змішувачі із шнековими робочими органами: стрічкові спіралі (одинарні, подвійні, потрійні); лопатеві (лопатки різної форми: прямокутні, трапецеїдальні, сегментні та ін); гвинтові (з активним або пасивним каналом зворотного ходу) мають такі переваги: низький питома витрата електроенергії; висока продуктивність на одиницю займаної площі; невелика матеріаломісткість; високий ступінь змішування компонентів; короткий час циклу змішування; можливе введення рідких компонентів.



Рисунок 1.9 - Стрічковий змішувач

У тих випадках, коли кормозмішувач має кілька рівноцінних по впливу на змішувані компоненти органів, що перемішуються, то його слід віднести до

змішувальних агрегатів із комбінованим робочим органом. Розвантаження змішувачів провадиться як вручну, так і механічно. Механічне розвантаження та автоматичне управління зменшують частку ручного праці та підвищують продуктивність. Запропонована конструкція двовального горизонтального лопаткового кормозмішувача безперервної дії з оптимальною конструктивною формою корпусу змішувача, що призначений для приготування суміші вологих кормів. Аналіз процесів, що проходять у змішувачі, дозволив встановити, що оптимальний кут установки лопаті 45 градусів.

Основною причиною високої питомої витрати енергії на змішування вологих кормів є клиноподібна ділянка, що утворюється між торцем лопаті та бічною стінкою корпусу змішувальної камери. Лопатеві горизонтальні змішувачі С-12, СГК-1М, А1-ДСЖ швейцарської фірми «Бюлер», голландських фірм «Van Aarsen» (рис.1.10) та «Wynveen International b.p.», американської «Хенз енд Стоуріз» та ряд інших призначені для приготування кормових сумішей вологістю 85% із запарюванням або без запарювання, а також сухих розсипних кормосумішей. Вони мають один (СГК-1М, "Бюлер", "Van Aarsen", "Хенз енд Стоуріз", "Wyn International b.p." (рис.1.11) або два («Van Aarsen», "Wynveen International b.p." робочих органи.

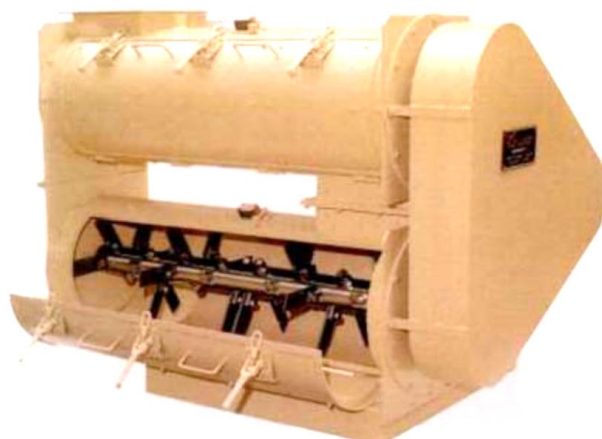


Рисунок 1.10 - Лопатковий змішувач для сипучих продуктів фірми "Van Aarsen"

Для отримання якісної суміші встановлюються на одному валу спіральні лопаті з лівою та правою навивкою з поворотом один відносно другого на 90 °

або  $120^\circ$  (рис. 1.12). Для введення рідких компонентів від 1-3% [153] до 10% передбачені патрубки. Швидке розвантаження продукту досягається застосуванням випускної заслінки. Ступінь неоднорідності одержуваної суміші менше 5%, при часі змішування від 10-60 секунд до 1,5-2 хвилин.



Рисунок 1.11 - Стрічковий змішувач фірми Wynveen International B.V.»



Рисунок 1.12 – Загальний вигляд двовального лопатевого змішувача: 1 – змішувальна ванна; 2 - завантажувальний патрубок; 3 - розвантажувальний патрубок; 4, 5 – вал; 6 - привід лопатевих валів; 7 – вивантаження готової суміші; 8 - лопаті

### 1.3 Аналіз параметрів і способів оцінки однорідності змішування

Відомі різні способи визначення вмісту індикатора в пробах, в яких контрольований компонент визначають або ручним розбиранням, або на ситовом класифікаторі, або промиванням проб. Через трудомісткість цих способів було запропоновано концентрацію індикатора визначати за роздільною ознакою.

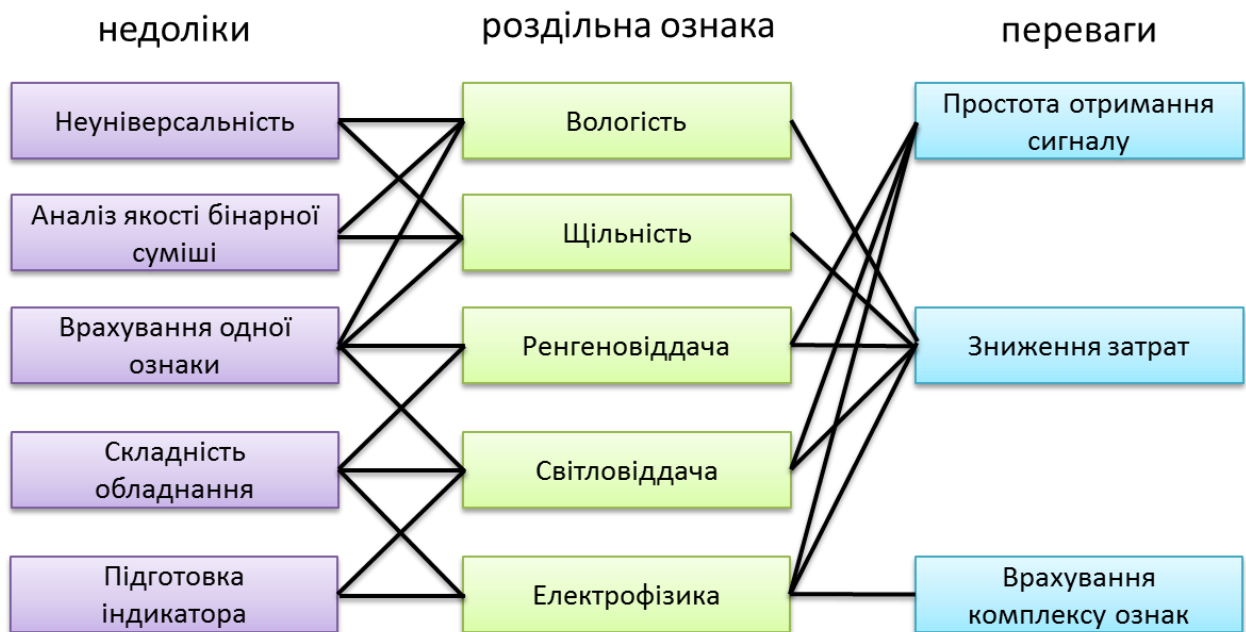


Рисунок 1.6 – Структурна схема відомих експрес-методів визначення нерівномірності змішування

В роботі [8] запропоновано спосіб, в основу якого покладено реєстрація і аналіз розподілу попередньо пофарбованих флуоресціюючих часток (слабокислотним водним розчином) на виході із змішувача. При явних перевагах цього способу він вимагає спеціального обладнання і попередньої підготовки контрольного компонента. Досить широке застосування отримав спосіб роздільної ознаки за вологості [9], відповідно з яким:

$$C_i = \frac{m_b - \psi_m}{|\psi_2 - \psi_1|}, \quad (1.1.)$$

де  $m_b$ ,  $\psi_m$  - маса води в наважці і маса наважки до висушування;

$\psi_2$ ,  $\psi_1$  - відносна вологість вихідних компонентів в частках одиниці.

Цей спосіб забезпечує достатню точність, але тільки в тому випадку, якщо вихідні компоненти розрізняються за вологістю не менше, ніж на 20% [10] і змішуються два або кілька компонентів, але всі, крім одного мають приблизно рівну вологість.

В роботі [7] пропонується визначати масу контрольованого подрібнюваного зерна в пробі, використовуючи вологість, що міститься в трав'яній січці за формулою:

$$m_k = m_C - m_T, \quad (1.2)$$

де  $m_C$ ,  $m_T$  - маса мірної ємності з сумішшю і мірної ємності з травою, визначені з точністю до 0,1 г.

Такий метод визначення концентрації застосовується лише тоді, якщо один з компонентів кормосуміші має підвищену вологість, що обмежує область його застосування.

Сьогодні широке застосування знаходить радіометричний метод [11]. Так за даними [12] з допомогою цього методу можна оцінити якість змішування і вологих і сухих волокнистих матеріалів. Однак його широке використання стримується, в основному, складністю і високою вартістю застосовуваного устаткування. В роботі [13] автори пропонують автоматизувати процес контролю якості змішування використовуючи те, що електрофізичні властивості (ЕФВ) однорідної суміші будуть ідентифікуватися, так як середня насипна

щільність, вологість, структурний склад суміші в різних точках по мірі завершення процесу змішування поступово приймає деяке середнє значення.

В роботі [6] запропоновано визначати однорідність суміші, де в якості ЕФС використано повний опір постійному струму. Однак спосіб застосуємо тільки для вологих кормосумішей.

В якості критерію оцінки якості суміші різними авторами запропоновано більше десятка критеріїв [14]: міра розсіювання, коефіцієнт неоднорідності, ступінь змішування, коефіцієнт якості, ступінь перемішування, критерій однорідності та ін. Єдиного універсального показника для характеристики якості суміші немає. Тому в кожному конкретному випадку вибирається параметр або група параметрів, які найбільш повно характеризують суміш. Деякі дослідники вважають, що для оцінки якості суміші слід брати середнє квадратичне відхилення  $S$  вмісту контрольного компонента в пробах, величину  $S$  за даними дослідів підраховувати за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{m})^2}{n-1}}, \quad (1.3)$$

де  $x_i$  - вміст контрольного компонента в  $i$ -ій пробі;

$m$  - середнє арифметичне значення спостережень ключового компонента у всіх пробах;

$n$  - загальна кількість відібраних проб.

У таблиці 1.1 [7], наведені основні формули, що використовуються для розрахунку критеріїв оцінки якості змішування. За наведеними критеріями можна визначити якість суміші в виділеному об'ємі.

Таблиця 1.1 - Критерії якості комбікормів

Критерій	Формула для розрахунку
Величина розсіювання М	$M = \frac{1}{\langle c \rangle} \sum_{i=1}^n c_i / n$
Коефіцієнт неоднорідності	$S = \frac{100}{\langle c \rangle} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - c)^2} \%$
Ступінь змішування М <sub>1</sub>	$M1 = \frac{S}{S_o}; S_o = c_o(1 - c_o)$
Коефіцієнт мінливості V	$V = \frac{S}{\langle c \rangle}$
Ступінь перемішування М <sub>2</sub>	$M2 = \ln \frac{100}{x}; \frac{x}{100} = \frac{F_0 - F}{F}$
Повнота перемішування U	$U = \alpha \Delta F = F / F_0$

Примітка. В таблиці 1.1 прийнято єдине позначення однакових величин. Тут S<sub>o</sub> - середнє квадратичне відхилення концентрації ключового компонента в пробах (ПКВО); S - вимірне значення; F - поверхня розділу між компонентами; x - частка неперемішаної суміші; a - коефіцієнт пропорційності; U - ймовірність того, що хоча б один з елементів даної поверхні розділу потрапляє до вибраного елементарного об'єму; ΔF - елемент поверхні розділу між компонентами; χ<sup>2</sup> - величина критерію Пірсона зі ступенем свободи K<sub>1</sub>, яка перевищується з імовірністю α; n - загальна кількість відібраних проб.

#### 1.4 Висновки по розділу

1. На підставі вивчення технологій і засобів механізації, застосовуваних



при виробництві кормів, встановлено, що в сучасних умовах витрати на їх приготування можна істотно зменшити, якщо готувати їх на внутрішньогосподарських підприємствах, використовуючи власну сировину, мінімізуючи транспортні витрати і застосовуючи сучасне обладнання, яке повинно задовольняти вимогам ресурсозбереження при гарантованому забезпеченні необхідної якості продукції. Особливо ці вимоги актуальні для фермерських і селянських господарств.

2. Серед великої різноманітності змішувачів сипких кормів найбільш повно відповідає поставленим вимогам вертикальний шнековий змішувач періодичної дії, як той, що забезпечує високу якість суміші за рахунок циркуляції змішуються матеріалів всередині бункера. Такий змішувач має просту конструкцію, зручний в експлуатації і обслуговуванні, надійний в роботі, займає незначну площу виробничого приміщення.

## 2 Теоретичні дослідження шнекового змішувача

### 2.1 Теоретичне обґрунтування схеми змішувача

Процес змішування сипких кормів розглянуто на прикладі роботи шнекового змішувача (рис. 2.1), принципова схема якого розроблена на основі аналізу конструкцій відомих змішувачів.

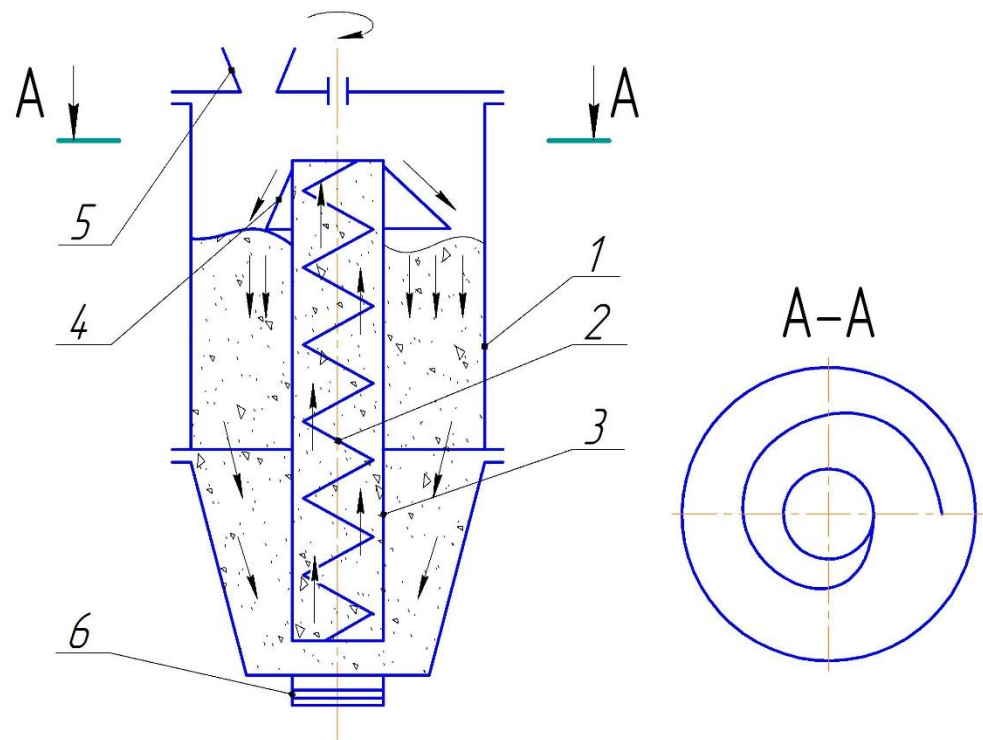


Рисунок 2.1 - Шнековий змішувач

Шнековий змішувач складається з бункера 1 циліндро-конічної форми, шнека 2 і кожуха 3. На верхньому торці знаходиться кожух 3 конічний розсіювач 4 змінного радіуса. Завантаження бункера 1 здійснюється через приймач 5, вивантаження суміші – через клапан 6. Процес змішування відбувається наступним чином. Спочатку компоненти суміші через приймач 5 завантажуються в бункер 1. Потім включається привід шнека 2 (на схемі не показаний), який захоплює суміш і переміщає її по внутрішній порожнині кожуха до верхнього

торця, де вона потрапляє на розсіювач 4 і звідти осипається вниз по всій площі поперечного перерізу бункера, де знову захоплюється шнеком, переміщується вгору і знову осипається вниз, за рахунок чого відбувається активна циркуляція матеріалів.

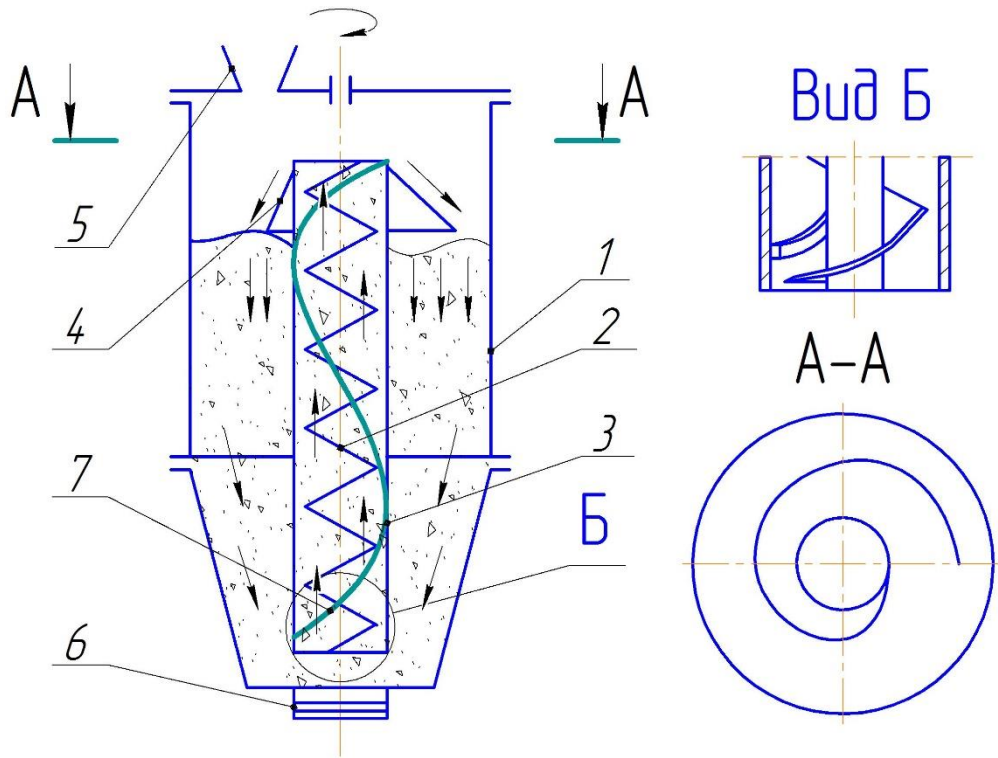


Рисунок 2.2 - Шнековий змішувач

З метою інтенсифікації процесу змішування, в наступній конструкції змішувача (рис. 2.2), перший виток спіралі від нижнього торця шнека виконаний зі змінним кутом підйому починаючи від нуля градусів на початку витка до величини кута підйому на основній частині шнека, що створює умови для більш успішного захоплення матеріалу в зоні завантаження шнека.

Нормальна реакція стінки кожуха  $N_k$ , викликає силу тертя частинки об стінку кожуха:

$$F_{тр.к} = N_k \cdot f_k, \quad (2.1)$$

і нормальна реакція спіралі  $N_{ш}$ , викликає силу тертя частинки по шнеку.

$$F_{тр. ш} = N_{ш} \cdot f_{ш}, \quad (2.2)$$

де  $f_{ш}$ ,  $f_k$  - коефіцієнти тертя матеріалу по шнеку і кожуха.

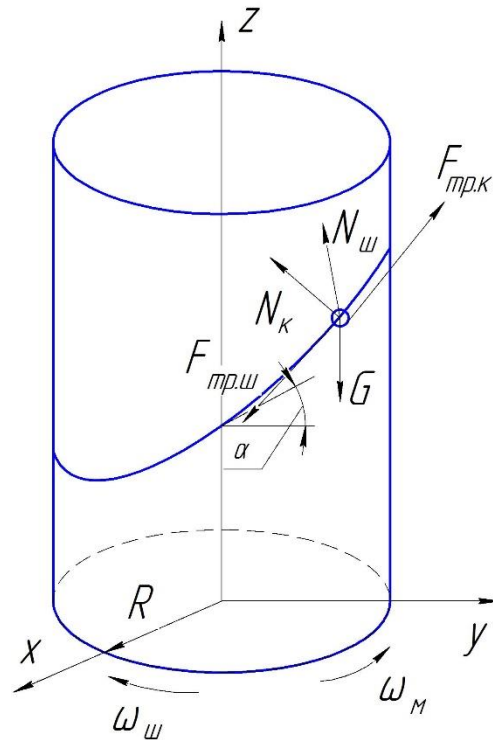


Рисунок 2.3 – Схема сил, що діють на частку корму

Успішне переміщення частинки по спіралі вгору може відбуватися у тому випадку, якщо:

$$F_{тр. к} > F_{тр. ш} \quad (2.3)$$

Розглянемо план швидкостей, що виникають при обертанні шнека (рис. 2.4).

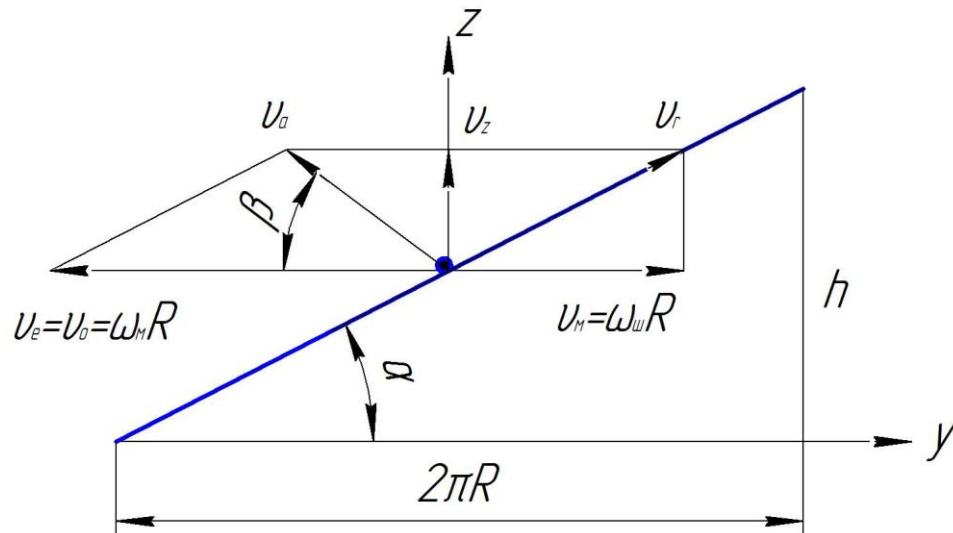


Рисунок 2.4 - План швидкостей

$v_a$  - абсолютна швидкість;

$v_e = v_o$  - переносна швидкість;

$v_r$  - відносна швидкість;

$v_z$  - швидкість переміщення частки вгору вертикальної осі шнека;

$\omega_{ш}, \omega_m$  - кутові швидкості шнека і частинки матеріалу;

$h$  - крок навивки;

$2\pi R$  - розгортка витка спіралі;

$\alpha$  - кут підйому;

$\beta$  - кут між переносною і абсолютною швидкостями.

Зі схеми на рис. 2.4:

$$v_a = \frac{\omega_{ш} \cdot R \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (2.4)$$

$$v_r = \frac{\omega_{ш} \cdot R \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (2.5)$$

$$v_z = \frac{\omega_{ш} \cdot R}{(\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta)}. \quad (2.6)$$

Кутова швидкість:

$$\omega_m = \frac{\omega_u \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}. \quad (2.7)$$

Диференційні рівняння переміщення частинки матеріалу по шнеку:

$$\frac{G}{g} \cdot R \cdot \dot{\omega}_m = -N_u (\sin \alpha + f_u \cos \alpha) + N_k \cdot f_k \frac{(\omega_u - \omega_m)}{\sqrt{(\omega_u - \omega_m)^2 + (\omega_m \operatorname{tg} \alpha)^2}}, \quad (2.8)$$

$$\frac{G}{g} \cdot R \cdot \dot{\omega}_m \cdot \operatorname{tg} \alpha = -G + N_u (\cos \alpha - f_u \sin \alpha) - N_k \cdot f_k \frac{\omega_m \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{(\omega_u - \omega_m)^2 + (\omega_m \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2}}, \quad (2.9)$$

$$\frac{G}{g} \cdot R \cdot (\omega_u - \omega_m)^2 = N_k. \quad (2.10)$$

Так як процес запуску шнека в роботу займає незначний проміжок часу (0,1-0,2) с, розглянемо його режим встановленого обертання. В цьому випадку рівняння (2.8)-(2.9) приймуть вид:

$$-N_u (\sin \alpha + f_u \cos \alpha) + N_k \cdot f_k \frac{(\omega_u - \omega_m)}{\sqrt{(\omega_u - \omega_m)^2 + (\omega_m \operatorname{tg} \alpha)^2}} = 0 \quad (2.11)$$

$$-G + N_u (\cos \alpha - f_u \sin \alpha) - N_k \cdot f_k \frac{\omega_m \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{(\omega_u - \omega_m)^2 + (\omega_m \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2}} = 0 \quad (2.12)$$

Рівняння (2.10) залишиться без змін.

Формулу для визначення кутової швидкості частинки матеріалу можна записати у вигляді:

$$\omega_m = \omega_u k_{np}, \quad (2.13)$$

де  $k_{np}$  - коефіцієнт проковзування частинки матеріалу відносно спіралі.  
 Прирівнявши формули (2.7) і (2.13), отримаємо:

$$k_{np} = \frac{\sin \beta \cdot \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (2.14)$$

Формула для визначення кута  $\beta$ :

$$\beta = \arcsin \frac{\omega_u \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{(\omega_u - \omega_n)^2 + (\omega_u \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2}}, \quad (2.15)$$

Результати розрахунку значення кута  $\beta$  показані на рис. 2.6.

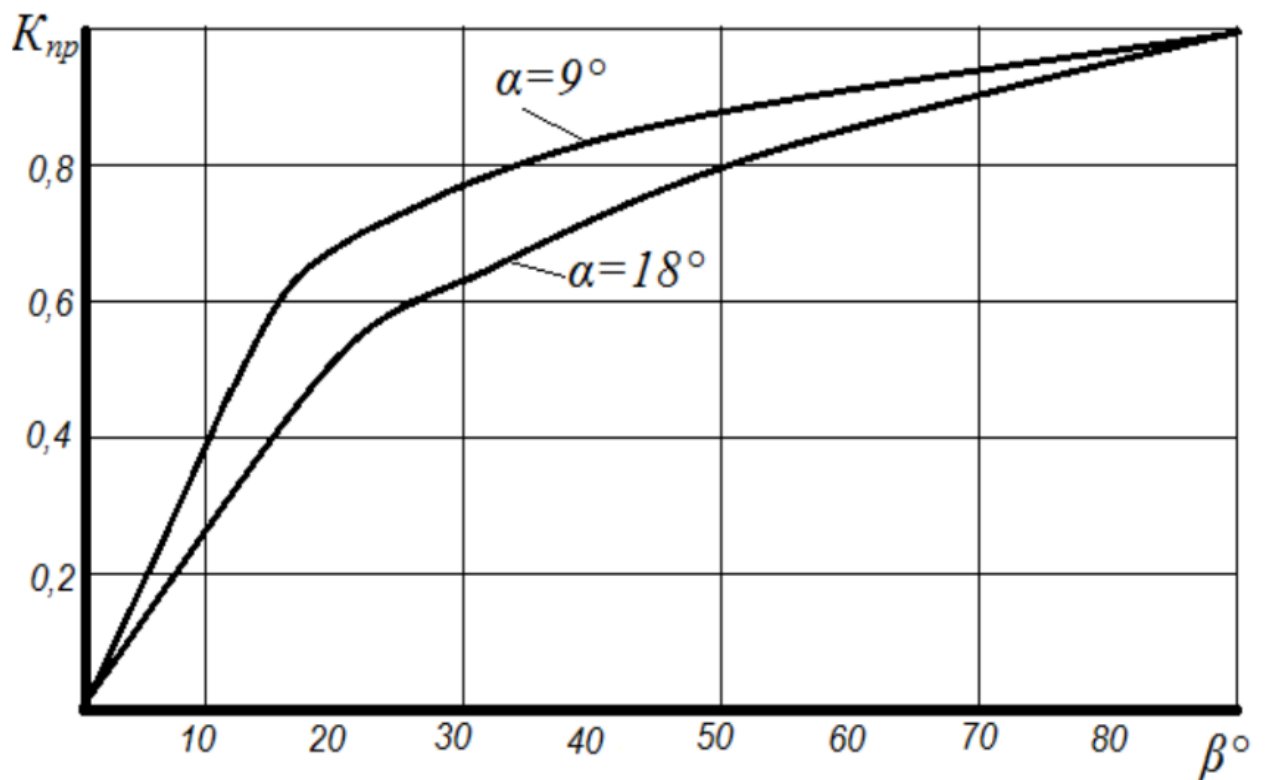


Рисунок 2.5 - Залежності  $k_{np} = f(\alpha, \beta)$

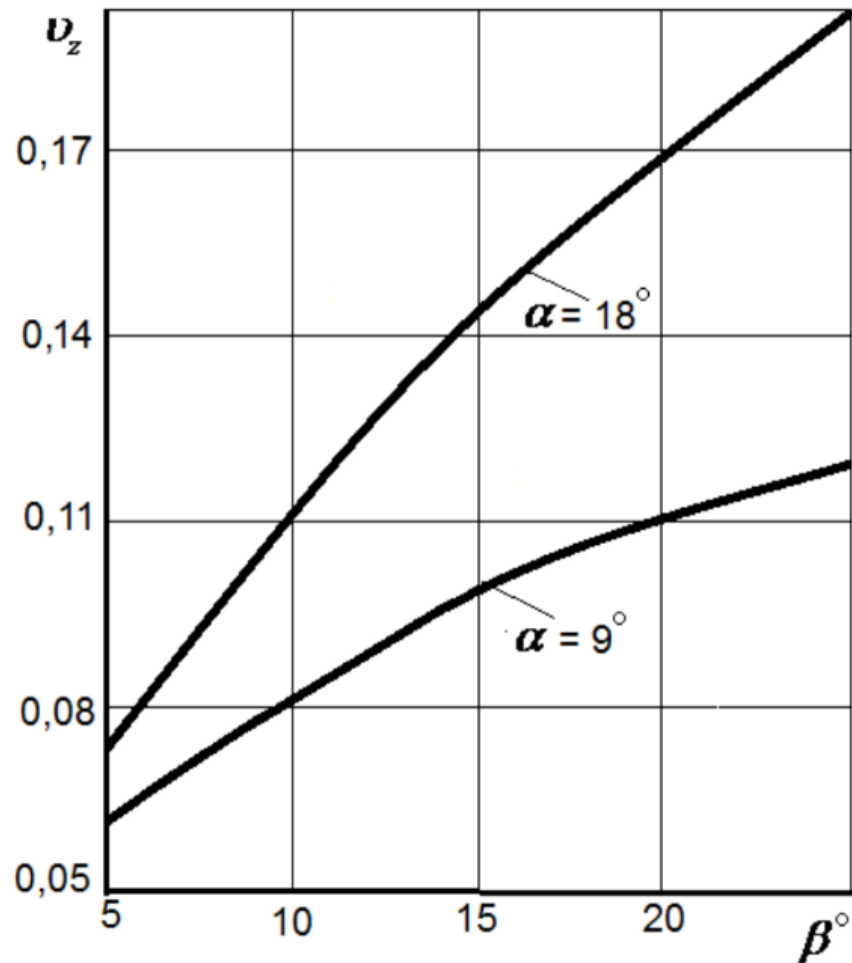


Рисунок 2.6 - Залежності величини кута  $\beta$  від відношення кутових швидкостей матеріалу і шнека

## 2.2 Продуктивність шнекового змішувача

Продуктивність шнекового змішувача залежить, головним чином, від продуктивності шнека, яку можна визначити за формулою:

$$N = \frac{\pi^2 \cdot G \cdot f_k \cdot n_{ш}^3 \cdot R^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^3 \gamma}{8775 \cdot 10^4 \cdot g \cdot \sin^2(\alpha + \gamma)}, \quad (2.16)$$

Як випливає з формули (2.16) продуктивність шнека залежить як від конструктивних параметрів шнека, якими є зовнішній діаметр  $D$ , діаметр вала  $d$ , крок намотування спіралі  $h$ , так і від режиму його роботи - частоти обертання



шнека  $n_{ш}$ . Коефіцієнт завантаження  $k_3$  визначає міру заповнення міжвиткового простору шнека матеріалом.

При розрахунку конструктивних параметрів шнека, таких як  $d$  і  $h$ , їх можна виразити через відношення до зовнішнього діаметру  $D$ :

$$k_1 = d/D, \quad (2.17)$$

$$k_2 = h/D. \quad (2.18)$$

Підставивши (2.17) і (2.18) в (2.16), маємо:

$$Q = \frac{\pi}{4} D^3 (1 - k_1^2). \quad (2.19)$$

З виразу (2.18) можна одержати формулу для визначення зовнішнього діаметра шнека:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4Q}{\pi(1 - k_1^2) \cdot k_2 \cdot n_{ш} \cdot k_3}}. \quad (2.20)$$

При відомому  $D$  представляється можливим визначити діаметр вала шнека і крок намотування спіралі:

$$d = k_1 D, \quad (2.21)$$

$$h = k_2 D. \quad (2.22)$$

Величина коефіцієнта  $k_1$  підбирається таким чином, щоб шнек мав вертикальну стійкість і водночас такий прохідний переріз між витками спіралі і валом

шнека, що дозволяє матеріалу безперешкодно переміщатися по спіралі. Стосовно до вертикальних шнека  $k_1 = 3,0 \dots 5,0$ . Нижнє значення цього коефіцієнта приймають для коротких шнеків, верхні – для шнеків великої довжини. Тому для шнека, який є робочим органом змішувача незначного розміру по висоті, можна прийняти  $k_1=3,0$ . Чисельні значення коефіцієнта  $k_2$  залежать від величини кута підйому спіралі і при прийнятих раніше кутах  $\alpha=9^\circ$  і  $\alpha=18^\circ$  складають  $k_2=5,0$  і  $k_1 = 0,1$ , що узгоджується з відомими даними.

При розрахунку продуктивності вертикального шнека важливе значення має правильний вибір частоти обертання. Вона повинна бути достатньою для того, щоб матеріал успішно переміщався вгору спіралі.

При виборі частоти обертання шнека вважають, що вона повинна бути більше критичної  $n^{kp}_{ш}$ , так як при меншій частоті транспортування частинки вертикальним шнеком не відбувається, оскільки вона буде обертатися разом зі шнеком без переміщення вгору по спіралі.

Для визначення  $n^{kp}_{ш}$ , розглянемо схему на рис. 2.8.

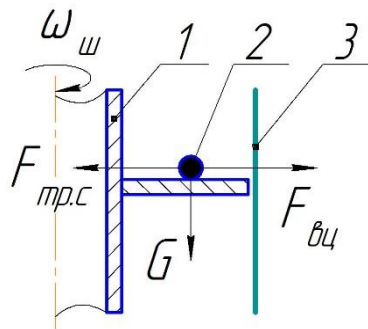


Рисунок 2.8 - Схема до розрахунку  $n^{kp}_{ш}$  поперек спіралі: 1 – вал шнека; 2 – спіраль; 3 – кожух

Успішне переміщення частинки матеріалу впоперек спіралі відбувається в тому випадку, якщо відцентрова сила  $F_{вц}$  більше сили тертя частинки об спіраль шнека:

$$F_{\text{вы}} > F_{\text{тр.с.}} \quad (2.23)$$

Відцентрова сила:

$$F_{\text{вы}} = m\omega^2 R. \quad (2.24)$$

де  $m$  – маса частинки,  $m = G/g$ .

Сила тертя частинки про спіраль:

$$F_{\text{тр.с.}} = G \cdot f_c = mgf_c. \quad (2.25)$$

де  $f_c$  - коефіцієнт тертя частинки об спіраль.

Тоді:

$$m\omega^2 R > mgf_c. \quad (2.26)$$

Звідси:

$$\omega_u > \sqrt{\frac{g \cdot f_c}{R}}, \quad (2.27)$$

або

$$n_{\text{ш}}^{\text{сп}} > \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \cdot f_c}{R}}. \quad (2.28)$$

По суті, за формулою (2.28) можна визначити частоту обертання шнека, вище якої частка матеріалу почне переміщатися до кожуха шнека поперек спіралі, але вона недостатня для її переміщення по спіралі вгору.

Нерівність (2.28) можна представити у вигляді:

$$n_{ш}^{кр} > \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(\sin\alpha + f_{ш} \cdot \cos\alpha)}{R \cdot f_k \cdot (\cos\alpha - f_{ш} \cdot \sin\alpha)}} \quad (2.29)$$

Аналіз результатів виявив наступне: величина кута  $\alpha$  зростає з підвищенням частоти обертання шнека  $n_{ш}$  і з збільшенням радіуса шнека  $R$ , але з різною інтенсивністю (рис. 2.9), (рис. 2.10).

Починаючи з частоти обертання шнека  $n_{ш}=300 \text{ хв}^{-1}$ , при прийнятих радіусах шнека, стає переважаючою величиною, звідки слідує, що коефіцієнт тертя матеріалу по шнеку є більш вагомим параметром, ніж всі інші разом взяті; чисельні значення кута  $\alpha$  тільки при частоті обертання шнека мають прийнятні величини, в інших випадках дають завищені результати, при яких крок навивки спіралі змінюється в діапазоні  $h=(1,63-2,14)D$ , а вертикальні шнеки з таким кроком, як правило, не застосовуються.

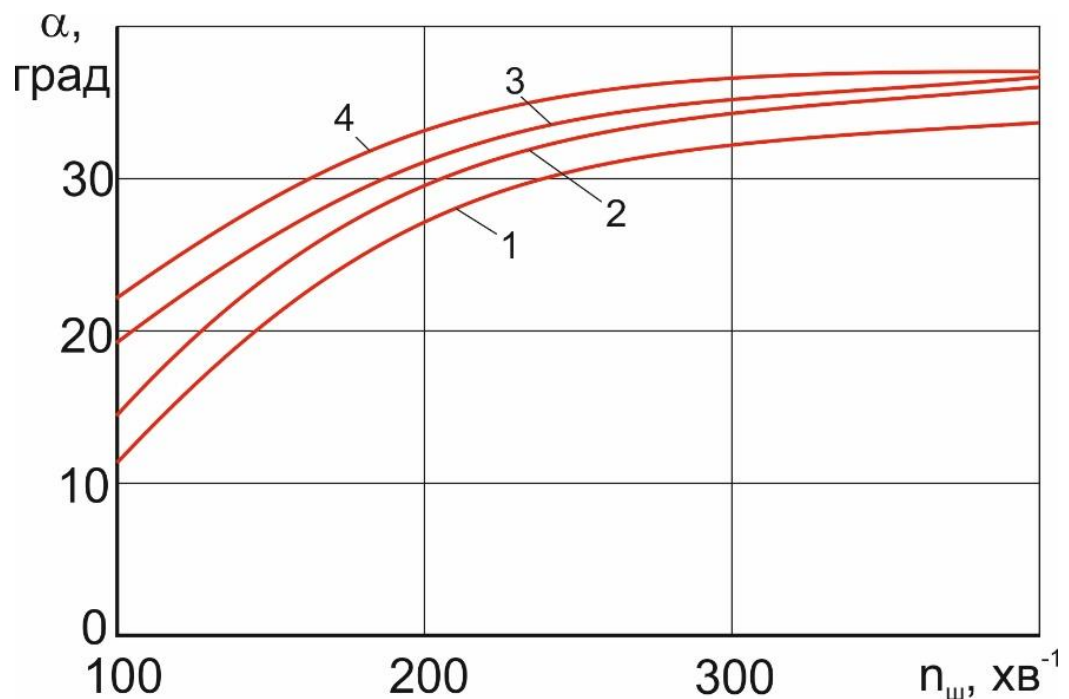


Рисунок 2.9 - Залежність  $\alpha=f(n_{ш})$ : 1 –  $R=0,1$  м ; 2 –  $R = 0,15$  м ;  
3 –  $R = 0,20$  м ; 4 –  $R = 0,25$  м

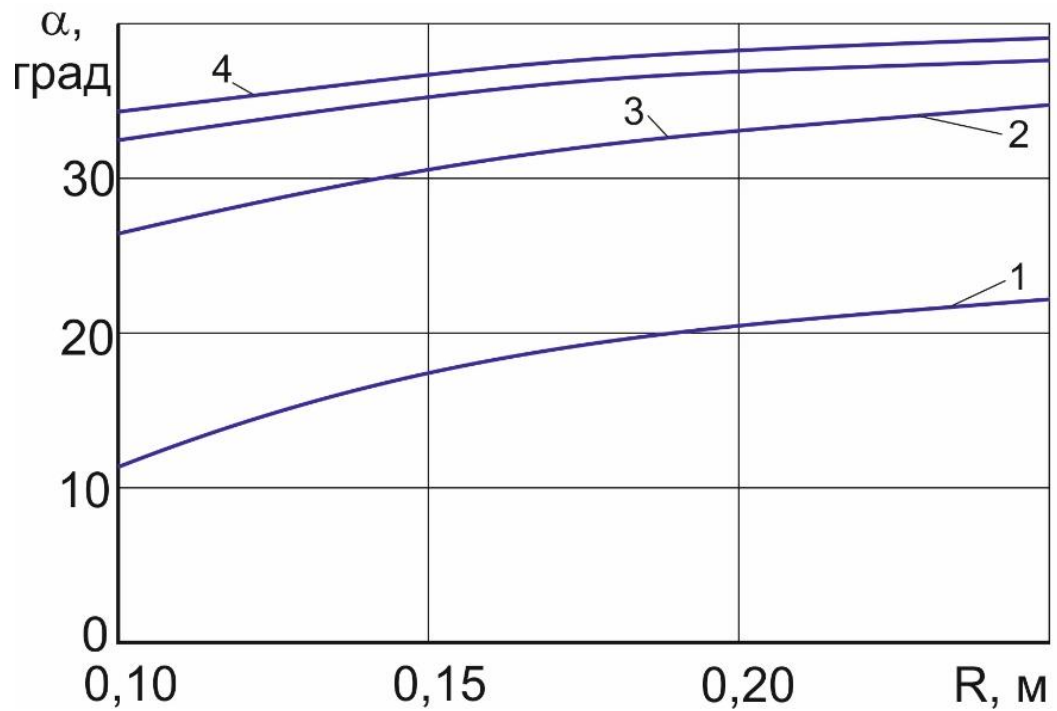


Рисунок 2.10 - Залежність  $\alpha = f(R)$ : 1 –  $n_u = 100 \text{ хв}^{-1}$ ; 2 –  $n_u = 200 \text{ хв}^{-1}$ ;  
3 –  $n_u = 300 \text{ хв}^{-1}$ ; 4 –  $n_u = 400 \text{ хв}^{-1}$

Таким чином, з аналізу формули (2.29) випливає, що вона не застосовна для розрахунку кута  $\alpha$  для шнеків, що працюють з великою частотою обертання.

Вираз (2.29) після його перетворення дозволяє визначити максимальне значення кута  $\alpha$ , при якому транспортування матеріалу вгору по спіралі не відбувається:

$$\alpha = \text{arctg} \cdot \left( \frac{\omega_u^2 \cdot R \cdot f_k - g \cdot f_u}{g} \right), \quad (2.30)$$

Пропонується визначити кут  $\alpha$  як середню величину між  $\alpha_1 = 0$  і  $\alpha_2 = \text{max}$ . Тоді формула (2.30) набуде вигляду:

$$\alpha = \frac{1}{2} \text{arctg} \cdot \left( \frac{\omega_u^2 \cdot R \cdot f_k - g \cdot f_u}{g} \right). \quad (2.31)$$

Величина коефіцієнта завантаження шнека залежить від багатьох факторів: частоти обертання шнека, кута підйому спіралі, властивостей транспортованого матеріалу, конструкції шнека, площі завантажувальних вікон в кожусі шнека та ін. Врахувати всі ці фактори практично неможливо і тому до теперішнього часу формули для розрахунку  $k_3$  стосовно вертикальних шнеків відсутні, а його величину визначають експериментально.

### 2.3 Потужність на привід шнекового змішувача

Необхідна потужність на привід вертикального шнека визначає загальні енерговитрати на змішування матеріалів, а питомі енерговитрати – витрати енергії на одиницю продукції, причому другий показник, по суті, показує ефективність процесу змішування. Відомий наступний вираз для визначення потужності на привід вертикального шнека:

$$N = \frac{\pi^2 \cdot G \cdot f_k \cdot n_{ш}^3 \cdot R^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^3 \gamma}{8775 \cdot 10^4 \cdot g \cdot \sin^2(\alpha + \gamma)}, \quad (2.32)$$

де  $G$  - вага матеріалу, що знаходиться на шнеку;

$\gamma$  - кут між переносною швидкістю  $v_e$  і абсолютною швидкістю  $v_a$ , що виникають при обертанні шнека.

У формулі (2.32) кут  $\gamma$  є невідомою величиною, тому розрахувати необхідну потужність приводу неможливо. Інша формула для розрахунку потужності приводу вертикального шнека має вигляд:

$$N = \frac{Q \cdot H \cdot \kappa}{367\eta} (W + 1), \quad (2.33)$$

де  $Q$  – продуктивність шнека;

$H$  – висота підйому матеріалу;

$k$  – коефіцієнт, що враховує втрати на тертя в опорах шнека;

$W$  – коефіцієнт опору руху матеріалу по кожуху, який визначається дослідним шляхом;

$\eta$  - к.к.д. приводу.

За формулою (2.33) потужність приводу можна розрахувати тільки в тому випадку, якщо відомі чисельні значення коефіцієнта  $W$ .

Деякі з них наведені в довідкових даних, наприклад, при транспортуванні пшениці  $W = 4,5 \dots 6,9$ , вівса  $W = 3,6 \dots 4,9$ . Різниця чисельних значень коефіцієнта  $W$  досить велика, тому розрахунок за формулою (2.33) потрібно проводити по максимальному значенням цього коефіцієнта.

Більш точний вираз для визначення потужності вертикального шнека можна представити у вигляді:

$$N = N_1 + N_2 + N_3, \quad (2.34)$$

де  $N_1$  - потужність, необхідна на підйом матеріалу при повному завантаженні шнека;

$N_2$  - потужність, необхідна для того, щоб матеріал міг подолати сили тертя по шнеку;

$N_3$  - потужність, необхідна для того, щоб матеріал міг подолати сили тертя по кожуху. Необхідна потужність на підйом матеріалу:

$$N_1 = G \cdot v_z, \quad (2.35)$$

де  $G$  - вага матеріалу, розташованого на шнеку при повному його завантаженні;

$v_z$  – осьова швидкість переміщення матеріалу.

$$G = V \cdot \rho \cdot k_3, \quad (2.36)$$

де  $V$  – об'єм шнека, заповнений матеріалом;

$\rho$  - щільність матеріалу;

$k_3$  – коефіцієнт завантаження шнека.

$$V = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)H, \quad (2.37)$$

З урахуванням (2.36) і (2.37) формула (2.35) прийме вигляд:

$$N_1 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)H \cdot \rho \cdot k_3, \quad (2.38)$$

Необхідна потужність на подолання сили тертя по шнеку:

$$N_2 = G f_{ш} \cdot v_z \cdot ctg \alpha. \quad (2.39)$$

Необхідна потужність на подолання сили тертя по кожуху:

$$N_3 = \frac{G}{g} \cdot R(\omega_u - \omega_m)^2 \cdot f_k \cdot v_z / \sin \beta. \quad (2.40)$$

Зробивши підсумовування виразів (2.38), (2.39), (2.40), отримаємо:

$$N = G \cdot v_z \left( 1 + f_{ш} \cdot ctg \alpha + \frac{R(\omega_u - \omega_m)^2 \cdot f_k}{g \cdot \sin \beta} \right), \quad (2.41)$$

де кут  $\beta$  має те ж значення, що кут  $\gamma$  у формулі (2.32). Вираз (2.41) дозволяє виконати аналіз складових загальної потужності приводу.

Визначимо чисельні значення другого і третього доданків формули (2.41). Прийmemo в першому випадку мінімальні значення параметрів, у другому випадку – максимальні значення:



1.  $f_{ш}=0,1$ ;  $\alpha=9^\circ$ ;  $R=0,10\text{м}$ ;  $\omega_{ш}=10,5$  рад/с;  $\omega_{м}=0,1\omega_{ш}$ ;  $f_{к}=0,6$ ;  $\beta=10^\circ$ .
2.  $f_{ш}=0,2$ ;  $\alpha=18^\circ$ ;  $R=0,30\text{м}$ ;  $\omega_{ш}=41,9$  рад/с;  $\omega_{м}=0,2\omega_{ш}$ ;  $f_{к}=0,9$ ;  $\beta=20^\circ$

Результати розрахунку показані нижче.

$$N_{p,1}=G \cdot v_z(1+ 0,60 + 3,22) =4,82G \cdot v_z$$

$$N_{p,2}=G \cdot v_z(1+ 0,63 + 90,91) = 92,54G \cdot v_z$$

З отриманих даних видно, що зі збільшенням розрахункових параметрів, потужність приводу зростає багаторазово і тому необхідну потужність слід розраховувати по найважчим умовам роботи шнека, тобто при максимальних значеннях конструктивних і режимних параметрів.

Як впливає з формули (2.40), з ростом  $v_z$  збільшується необхідна потужність приводу, але з ростом  $v_z$  підвищується і швидкість циркуляції змішуваних матеріалів.

## 2.4 Висновки по розділу

1. На підставі аналізу складових споживаної потужності приводу вертикального шнека встановлено, що найбільші витрати енергії припадають на подолання сил тертя змішуваних матеріалів об кожух, а наявність на його внутрішній поверхні гвинтової реборди сприяє зменшенню цих витрат, оскільки підвищує частоту обертання матеріалу щодо шнека і швидкість його циркуляції всередині бункера.

2. Доведено, що продуктивність вертикального шнека залежить головним чином від частоти його обертання і кута підйому спіралі. Запропоновано теоретичні залежності для визначення раціональних значень цих параметрів. На

підставі вивчення механізму переміщення матеріалу вертикальним шнеком запропоновані оригінальні технічні рішення, які підвищують ефективність процесу змішування кормів.

### **3 Експериментальні дослідження лабораторного зразка шнекового змішувача**

#### **3.1 Програма експериментальних досліджень**

У відповідності до поставлених задач у якості об'єкту дослідження прийнято технологічний процес змішування сипких компонентів комбікормів та сукупність технологічних та техніко-економічних факторів, які пов'язані з обладнанням для змішування в технологічних лініях комбікормових підприємств. Акцент зроблено на визначенні оптимальної продуктивності, енергоємності та якості змішування сипких компонентів комбікормів.

Якість змішування комбікормів – критерій, значення і характер зміни якого можливо визначити лише експериментальним шляхом.

Програма експериментів наступна:

- технологічних параметрів процесу змішування на якість готового продукту;
- технологічних параметрів процесу змішування на продуктивність та енергоємність.

Метою представлених вище досліджень є:

- розробка методології дослідження процесу змішування сипучих компонентів та визначення основних конструктивних і технологічних параметрів змішувача;
- визначення вмісту контрольного компоненту суміші, її коефіцієнта неоднорідності та провести статистичну обробку експериментів з побудовою регресійних залежностей.

#### **3.2 Методика експериментальних досліджень**

Дослідження проводилися в лабораторії кафедри механізації виробничих

процесів у тваринництві Дніпровського державного аграрно-економічного університету на базі розробленої лабораторної установки шнекового вертикального змішувача комбікорму за прийнятими та розробленими методиками (рис. 3.1, 3.2).

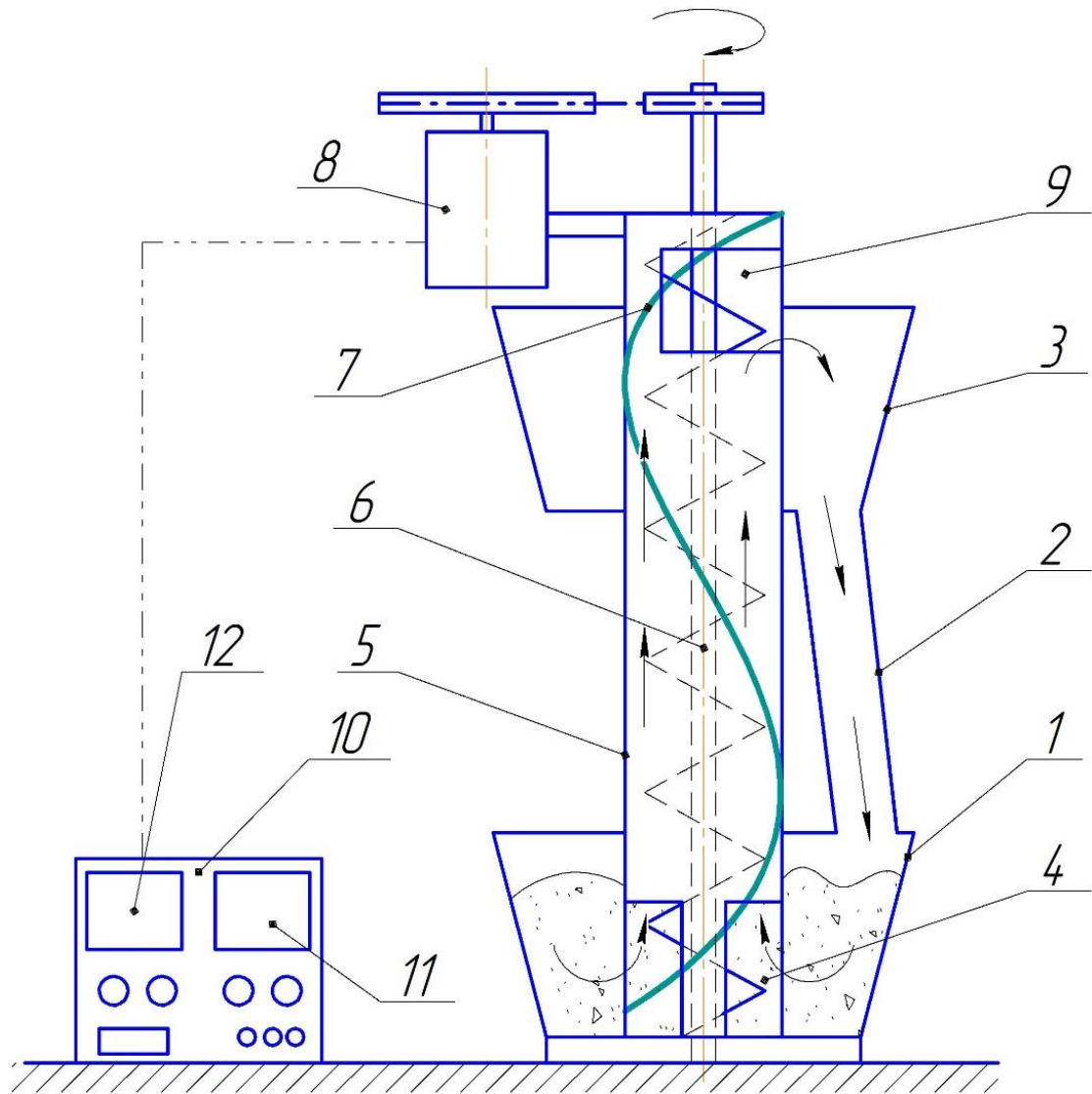


Рисунок 3.1 – Експериментальна установка (схема принципова): 1 – завантажувальна ємність; 2 – напрямна; 3 – розвантажувальна ємність; 4 – забірне вікно; 5 – кожух; 6 – шнек; 7 – реборда; 8 – привід; 9 – розвантажувальне вікно; 10 – лабораторний блок живлення; 11 – вольтметр; 12 – амперметр



Рисунок 3.2 – Експериментальна установка (вид загальний)

Модель експериментального змішувача виконана в масштабі 1:5. Крутний момент на валу змішувача визначали за зміною навантаження на двигун вимірюванням за допомогою амперметра.

Проби для визначення контрольного компоненту у суміші відбиралися по закінченню циклу змішування.

У якості незалежних факторів були обрані:

- частота обертання шнеку,  $\text{хв}^{-1}$  ( $x_1$ );
- кут установки реборди, град. ( $x_2$ );

У якості функцій відгуку, що найбільше характерно відбивають техніко-економічні показники роботи змішувача і якості одержуваної продукції, вибираємо:

- питома витрата електроенергії, кВт·год/т ( $q$ );
- коефіцієнт неоднорідності одержуваної сухої суміші, % ( $C$ ).

Обробка результатів досліджень виконувались за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel 2010 та Statistica v. 10.1.

### 3.3 Результати експериментальних досліджень

Експерименти виконувались з використанням шнека з кроком навивки спіралі 36 мм (кут підйому спіралі  $12^{\circ}42'$ ) в комплекті з гладким кожухом, а також з кожухами, що мають реборди на внутрішній поверхні з кутами установки реборд  $20^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ ,  $55^{\circ}$ ,  $77^{\circ}$ .

В якості змішуваних матеріалів використовувались пшоно (чисте і фарбоване) у співвідношенні 1:5. На підставі отриманих даних були визначені швидкість переміщення суміші по шнеку. В табл. 3.1 показано результати експериментів по визначенню швидкості переміщення суміші по шнеку.

Таблиця 3.1– Чисельні значення швидкості переміщення суміші, мм/с

Кут установки реборд кожуха, град.	Частота обертання шнека, $\text{хв}^{-1}$			
	150	200	250	300
20	13,58	17,93	26,73	27,04
35	15,66	23,51	27,10	29,01
55	16,17	24,83	27,04	34,07
77	19,47	26,81	38,33	39,45
без реборди	10,50	14,33	22,34	24,83

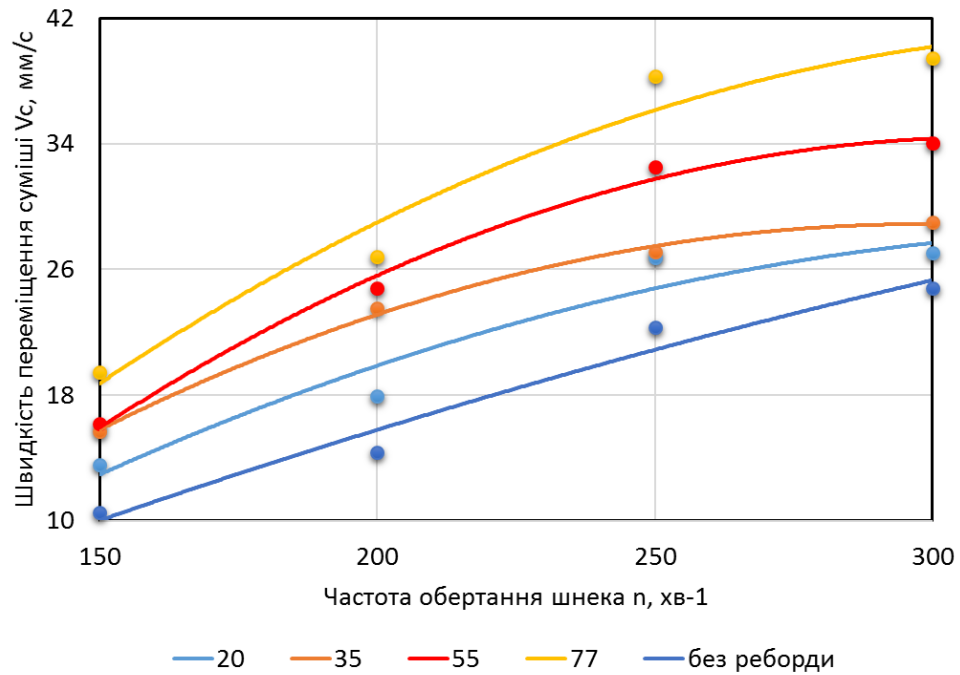


Рисунок 3.3 – Залежність швидкості переміщення суміші по шнеку від частоти його обертання.

З даних, представлених в табл. 3.1 та на рис. 3.3, слід, що швидкість переміщення суміші по шнеку при застосуванні кожухів з ребордами виявилася значно вище, ніж при використанні гладкого кожуха: при  $n_{ш} = 150$  хв<sup>-1</sup> - в 1,29-1,95 рази, при  $n_{ш} = 200$  хв<sup>-1</sup> - в 1,27-1,94 рази, при  $n_{ш} = 250$  хв<sup>-1</sup> - у 1,20-1,74 рази, при  $n_{ш} = 300$  хв<sup>-1</sup> - в 1,13-1,62 рази. Менші значення цих діапазонів відносяться до кожуха з кутом встановлення реборди 20°, більші - з кутом установки реборди 77°.

Ці дані є доказом того, що установка реборди на внутрішній поверхні кожуха сприяє збільшенню швидкості переміщення матеріалу по спіралі. Аналізуючи результати експериментальних досліджень по визначення швидкості переміщення суміші по шнеку і визначення оптимального числа заходів реборди кожуха, можна обґрунтовано зробити висновок про те, що для виконання досліджень за змішування сипких кормів кращим є варіант роботи шнека з кроком намотування спіралі 32 мм і кожухом з кутом установки реборди 55°.

Так як при проведенні експериментів проводилось безперервне вимірювання споживаної потужності, це дозволило визначити питому енергоємність процесу змішування, табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Чисельні значення споживаної потужності (Вт) і питомої енергоємності змішування (Вт·хв/см<sup>3</sup>)

Конструкція кожуха	Показник	Частота обертання шнека, хв-1			
		150	200	250	300
кожух з кутом встановлення реборди 55°	N, Вт	156,2	171,6	180,4	193,6
	q, Вт·хв/см <sup>3</sup>	0,29	0,23	0,19	0,18
без реборди	N, Вт	138,6	149,6	162,8	171,6
	q, Вт·хв/см <sup>3</sup>	0,60	0,48	0,38	0,37

Графічно дані табл. 3.2 наведено на рис. 3.4

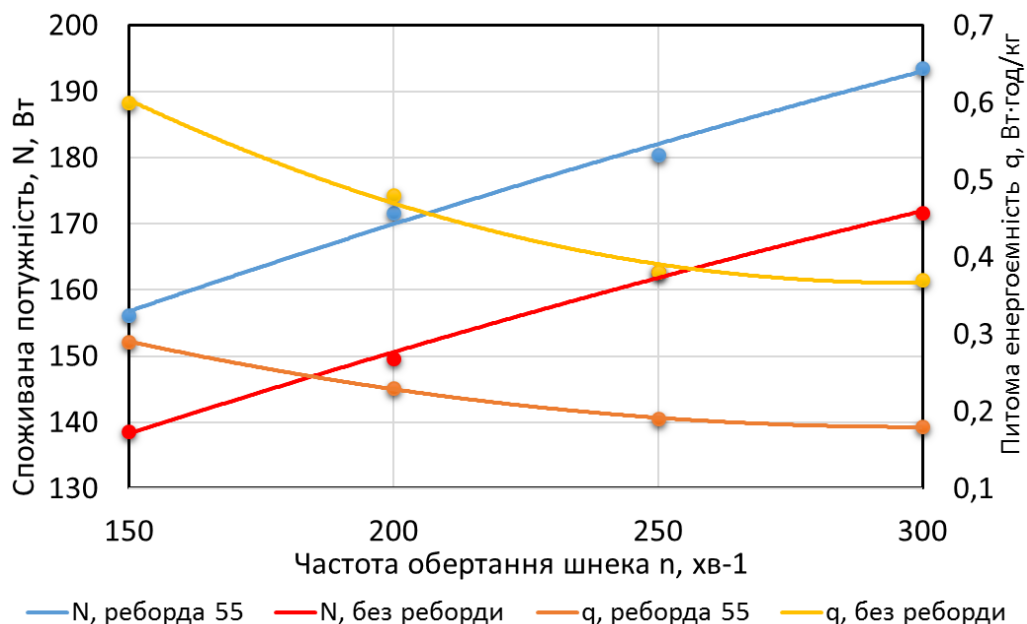


Рисунок 3.4 – Залежності споживаної потужності і питомої енергоємності від частоти обертання шнека



Дані, показані в табл. 3.2 і на рис. 3.4, показують, що при застосуванні як кожуха з ребордою, так і без неї споживана потужність із зростанням частоти обертання шнека підвищується, а питома енергоємність знижується, причому збільшення споживаної потужності відбувається пропорційно зростанню частоти обертання, а енергоємність процесу змішування найбільш інтенсивно знижується при частоті обертання шнека в діапазоні 150-250 хв<sup>-1</sup>, потім цей процес сповільнюється.

Порівняння наведених даних показало, що споживана потужність привода шнека з кожухом з ребордою виявилася більше, ніж шнека з гладким кожухом у 1,11-1,15 рази по всьому діапазону частоти обертання шнека, а питома енергоємність з кожухом з ребордою зменшилася в 2,0-2,1 рази.

Експерименти по дослідженню однорідності змішування виконувалися із застосуванням шнека з кроком спіралі 32 мм в комплекті з кожухом з ребордою з кутом установки реборд 55°. Для порівняння використовувався той же шнек з кожухом, що має гладку внутрішню поверхню. У всіх випадках забезпечувалася циркуляція змішуваних матеріалів, тобто шнек захоплював їх з бункера, піднімав з кожуха до верхнього торця, звідки матеріали обсипалися по похилому лотку назад у бункер і потім знову захоплювалися шнеком.

Частота обертання шнека по результатами попередніх експериментів була прийнята рівною 300 хв<sup>-1</sup>, тривалість експериментів становила 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 хв. Об'єм змішуваних матеріалів підбирався таким, щоб за час підйому їх з шнека вони повністю розмістилися на витках спіралі. За цієї умови можна було визначити тривалість одного циклу змішування і загальна кількість циклів за час експерименту.

На рис. 3.5 показано експериментальні залежності коефіцієнта рівномірності змішування компонентів від тривалості і числа циклів змішування при застосуванні шнека з кожухом з ребордами.

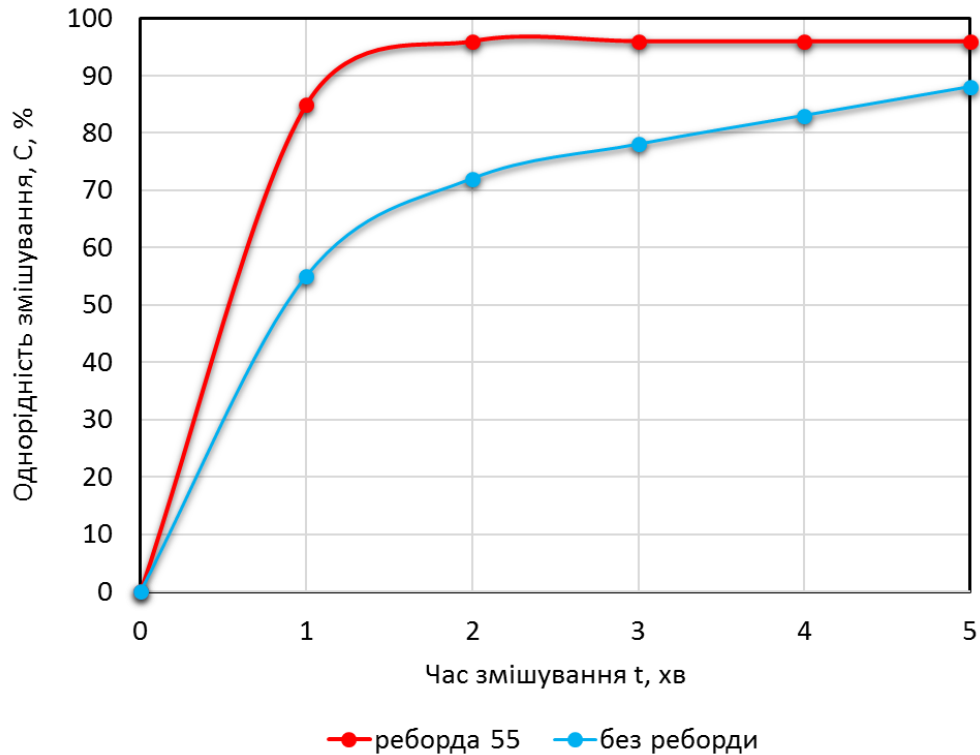


Рисунок 3.5 – Залежності якості суміші від тривалості змішування компонентів

Криві, наведені на рис. 3.5, показують, що залежність коефіцієнта  $C$  від тривалості процесу змішування і числа циклів змішування мають нелінійний характер. При використанні кожуха з ребордою найбільш активно утворення суміші відбувається у початковий період процесу змішування за перші 1-2 циклу, а потім інтенсивність процесу істотно зменшується. При за відсутності реборди тривалість змішування до потрібної якості суміші збільшується. Характер кривих не залежить від числа компонентів, що змішуються, матеріалів, а показник якості суміші зі збільшенням компонентів зменшується. При змішуванні матеріалів шнеком з застосуванням кожуха з гладкою внутрішньою поверхнею отримані чисельні значення коефіцієнта  $C$  значно менші: при змішуванні 2-х компонентної суміші на 9-11 %, при змішуванні 3-х компонентної суміші – на 11-15%, при змішуванні 4-х компонентної суміші – на 12-16%.

З цих даних випливає, що наявність реборди на внутрішній поверхні кожуха сприяє більш якісному перемішуванню сипких кормів, причому тривалість цього процесу може бути істотно скорочена. Так, з даних, наведених на рис. 3.5 видно, що за наявності реборди задовільна якість суміші може бути отримана протягом 1-2 хв, причому незалежно від числа компонентів змішуваних матеріалів.

При змішуванні матеріалів із застосуванням гладкого кожуха 2-х компонентна суміш досягає задовільної якості за 3-4 хв, 3-х компонентна суміш через 5-6 хв, а 4х компонентна суміш за 8-9 хв. Зменшення тривалості процесу змішування з шнеком кожухом з ребордою можна пояснити не тільки більш високою швидкістю переміщення матеріалу по шнеку, але також тим, що реборда кожуха перешкоджає обертанню матеріалу разом зі шнеком. Частина цього матеріалу пересувається вгору по спіралі, а частина, що залишилася під впливом реборди пересипається назад на спіраль, що також сприяє перемішуванню компонентів суміші.

### **3.4 Висновки по розділу**

1. Доведено, що шнек, що працює в комплекті з кожухом з ребордою, розвиває значно вищу (в 1,5-2,7 рази) швидкість переміщення матеріалу в порівнянні з варіантом роботи шнека з гладким кожухом. Найбільша швидкість переміщення матеріалу і найменша енергоємність отримані при застосуванні кожуха з установкою реборди перпендикулярно спіралі шнека. При цьому однорідність змішування становила не менше 96%.

2. При роботі шнека з кожухом з установкою реборди перпендикулярно спіралі питома енергоємність процесу змішування зменшилася в 2,0-2,1 рази в порівнянні з варіантом роботи шнека з гладким кожухом.

3. Експериментальні дослідження по змішуванню сипучих кормів показали, що якість суміші, одержуваної в шнековому змішувачі, залежить як від

кількості циркуляції матеріалу всередині змішувача, так і від числа компонентів суміші. Найбільш активно процес змішування відбувається в перші 1-2 циклу циркуляції змішуються кормів. При застосуванні шнека з кожухом з ребордою високу якість суміші може бути отримано протягом 3-4 хвилин процесу змішування.

## 4 Охорона праці

### 4.1 Загальні вимоги

Загальні вимоги з охорони праці при приготуванні комбікормів в Україні регулюються рядом нормативно-правових документів. На даний момент, основними законами та нормативами є:

Закон України "Про охорону праці": Визначає основні принципи та вимоги забезпечення безпеки та охорони праці на робочому місці.

Санітарні норми та правила (СНиП "Охорона праці в сільському господарстві"): Цей документ містить конкретні вимоги до охорони праці в аграрному секторі, включаючи виробництво комбікормів.

Гігієнічні нормативи (ГН "Гігієнічні вимоги до виробництва, реалізації та застосування кормів"): Регулює гігієнічні вимоги до виробництва та застосування кормів, включаючи комбікорми.

Наказ Міністерства охорони здоров'я України "Про затвердження Переліку професій, робота на яких вважається шкідливою для здоров'я": Визначає категорії робіт, які можуть мати негативний вплив на здоров'я працівників у виробництві комбікормів.

Нормативні акти щодо безпеки харчових продуктів: Оскільки комбікорми призначені для тваринної годівлі, також важливо враховувати вимоги до безпеки харчових продуктів, які можуть впливати на якість м'яса, молока та інших тваринних продуктів.

Праця з мінікомбікормовими установками та агрегатами повинна відповідати вимогам охорони праці для забезпечення безпеки та здоров'я працівників. Основні вимоги можуть включати:

Організація робочого місця. Забезпечення вільного доступу до робочих місць та обладнання. Використання протизсувних покриттів на підлозі для уникнення травматичних ситуацій. Зону навколо установок повинно бути відзначено інформаційними знаками та лініями безпеки.

Освітлення. Забезпечення достатнього освітлення на робочих ділянках. Використання світлодіодних джерел для уникнення блисків та тіней.

Електробезпека. Регулярна перевірка електрообладнання на відповідність стандартам. Встановлення захисних пристроїв та відключення живлення при обслуговуванні та ремонті.

Захист від шуму та вібрації. Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту від шуму та вібрації. Регулярна перевірка рівня шуму та вібрації та при необхідності застосування заходів зменшення їх впливу.

Вентиляція та охорона дихальних шляхів. Забезпечення ефективної системи вентиляції для зменшення концентрації шкідливих речовин у повітрі. Надання працівникам засобів індивідуального захисту дихальних шляхів при необхідності.

Навчання та інструктажі. Проведення навчання та інструктажів з питань охорони праці для всіх працівників, які працюють з мінікомбікормовими установками та агрегатами. Забезпечення працівників знаннями щодо користування засобами індивідуального захисту.

Аварійна безпека. Встановлення систем аварійного відключення та надання персоналу інструкцій щодо дій в разі аварії. Проведення регулярних навчань та тренувань з ведення аварійних ситуацій.

Медичне обстеження. Проведення регулярних медичних оглядів працівників, які працюють з мінікомбікормовими установками.

Ці вимоги можуть бути доповнені або змінені відповідно до конкретних умов роботи та вимог законодавства охорони праці в Україні.

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

Інструкція з охорони праці при роботі зі змішувачем комбікорму має за мету забезпечення безпеки та здоров'я працівників під час виконання цієї роботи. Нижче подано загальну інструкцію, яку можна адаптувати до конкретних

умов вашого підприємства. Звертайте увагу на конкретні ризики та вимоги, які можуть бути у вашому виробництві.

Огляд обладнання. Перед початком роботи переконайтеся в належному технічному стані змішувача. Виявлені дефекти, пошкодження або несправності повинні бути негайно виправлені перед початком експлуатації.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Всі працівники, які працюють зі змішувачем комбікорму, повинні використовувати необхідні засоби індивідуального захисту, такі як респіратори, захисні окуляри, навушники, рукавиці та захисний одяг.

Інструктаж та навчання. Забезпечте всіх працівників обов'язковим навчанням з питань охорони праці та використання обладнання. Відповідальна особа повинна провести інструктаж щодо правильного використання змішувача, процедур безпеки та екстрених ситуацій.

Вентиляція та робоче середовище. Переконайтеся, що робоче приміщення, де розташований змішувач, обладнане ефективною системою вентиляції. Уникайте роботи в недостатньо провітрюваному приміщенні та забезпечте відсутність шкідливих газів у повітрі.

Електробезпека. Ретельно слідкуйте за станом електропроводки та електрообладнання змішувача. Перевірте, що всі електротехнічні роботи виконані відповідно до вимог безпеки.

Заборона на самостійне обслуговування. Забороняється виконання будь-яких робіт з технічного обслуговування чи ремонту без належної підготовки та дозволу від відповідальної особи.

Спостереження за робочим процесом. Постійно слідкуйте за робочим процесом та уникаєте входження у небезпечні зони під час роботи змішувача.

Персональна гігієна. Перед виходом із робочого приміщення та після за-

вершення роботи змішувачем виконайте процедури особистої гігієни. Забезпечте наявність мийних засобів та місць для миття рук.

Екстрені ситуації. Визначте та навчіть працівників діяти в екстрених ситуаціях, таких як пожежа чи аварія.

Ця інструкція повинна бути доступною всім працівникам та регулярно оновлюватися для відображення будь-яких змін у процесі роботи чи вимогах безпеки.

### **4.3 Правила поведінки в надзвичайній ситуації**

Надзвичайні ситуації можуть включати природні катастрофи, техногенні аварії, терористичні події та інші загрози безпеці.

Зберігайте спокій. Спокій - це ключовий аспект безпеки в будь-якій надзвичайній ситуації. Намагайтеся контролювати свої емоції і діяти розсудливо.

Інформуйтеся. Слухайте новини та офіційні джерела інформації. Спостерігайте за попередженнями та інструкціями влади.

Визначте безпечне місце. Якщо ви в будівлі, знаходьте безпечне місце, наприклад, подалі від вікон. У відкритому просторі шукайте притулку від можливих загроз.

Зберігайте засоби для виживання. Майте запас продуктів, води та медикаментів для екстреного випадку. Знайте, де знаходяться засоби першої допомоги.

Плануйте евакуацію. Заздалегідь визначте шляхи евакуації та місця збору. Навчайтеся, як швидко та ефективно покидати приміщення чи область.



Взаємодійте з іншими. Допмагайте людям, особливо тим, хто потребує допомоги. Залишайте місце для рятувальних служб та слідуйте їхнім інструкціям.

Використовуйте телефон розсудливо. Намагайтеся тримати телефон зарядженим. Використовуйте телефон тільки для екстрених дзвінків та отримання інформації.

Використовуйте світловідбиваючі матеріали. Вночі або в умовах обмеженої видимості використовуйте світловідбиваючі елементи, щоб бути поміченим рятувальними службами.

Спостерігайте за дітьми та тваринами. Надавайте особливу увагу безпеці дітей і домашніх тварин. Заздалегідь обговоріть план евакуації з родиною.

Використовуйте власні знання і вміння. Заздалегідь навчіться навичкам виживання та першої допомоги. Знаючи, як ви поведетесь у критичних ситуаціях, ви будете готові до дії.

Завжди важливо бути готовим і знаходитися на сторожі, щоб ефективно реагувати на будь-які надзвичайні обставини.

#### **4.4 Висновки по розділу**

У цьому розділі ми здійснили огляд розробленого змішувача комбікормів відповідно до нормативних документів та поточних вимог. Під час цього огляду було визначено вплив небезпек та шкідливих факторів на оператора, а також були запропоновані відповідні заходи для їх усунення.

## 5 Економічна оцінка

В даному розділі ми будемо оцінювати економічну ефективність використання розробленого змішувача сипких кормів, який входить до складу установки ККУ-2. Для порівняння економічних показників розробленого та зазначеного змішувачів ми будемо враховувати експлуатаційні витрати, проводячи розрахунки для однакових робочих умов. Оцінку будемо проводити по експлуатаційним витратам, використовуючи методику, приведену в [10].

«Витрати на заробітну плату

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

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

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

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

$D$  – кількість робочих днів на рік;

$\delta$  – коефіцієнт нарахування на заробітну плату.»

«Добовий час роботи машини визначається виходячи з добової потреби в комбікормах.

$$t = \frac{G_{\text{доб}}}{Q_3} = \frac{n \cdot g}{Q_3}, \text{ год.}, \quad (5.2)$$

де  $G_{\text{доб}}$  – добова потреба в комбікормах по фермі, кг;

$Q_3$  – продуктивність змішувача, кг/год.

$n$  – поголів'я свиней на фермі, гол.;

$g$  – добова потреба в комбікормі на голову, кг/гол.»

«Амортизаційні відрахування

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

де  $B$  – балансова вартість змішувача, грн.

$\alpha$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %.

Відрахування на ремонт і ТО змішувача

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

де  $\beta$  – коефіцієнт відрахувань на ремонт та ТО, %.

Витрати на електроенергію визначимо за формулою

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

де  $N$  – потужність змішувача, кВт.;

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

«Загальні витрати

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

Економія витрат

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

де  $EB_1$ ,  $EB_2$  – експлуатаційні витрати для ККУ-2 та розробленого змішувача відповідно, грн.»

«Термін окупності нового змішувача

$$P = \frac{B_2 - B_1}{EEB}, \text{ грн.}, \quad (5.8)$$

де  $B_1, B_2$  – балансова вартість ККУ-2 та проектного змішувача, грн.

Вихідні дані та результати розрахунків приведено в табл. 5.1.»

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності змішувача

№ з.п.	Показник	ККУ-2	Змішувач за розробкою
1	2	3	4
1	Чисельність обслуговуючого персоналу, люд.	1	1
2	Годинна тарифна ставка, грн/год.	112,5	112,5
3	Кількість робочих днів на рік	365	365
4	Поголів'я свиней на приватній фермі, гол.	120	120
5	Добова потреба в кормі, кг/гол.	3,4	3,4
6	Добова потреба в кормі по фермі, кг	408	408
7	Продуктивність змішувача, кг/год	500	520
8	Тривалість роботи машини на добу, год.	0,82	0,78
9	Балансова вартість машини, грн.	18600	22800
10	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
11	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8	8
12	Вартість електроенергії, грн/кВт·год	2,32	2,32
13	Потужність на привід, кВт	4	2,2
14	Витрати на заробітну плату, грн.	40878,54	39306,29
15	Амортизаційні відрахування, грн.	1860,00	2280,00
16	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	1488,00	1824,00
17	Витрати на електроенергію, грн.	2763,96	1461,71
18	Експлуатаційні витрати, грн.	46990,50	44872,00
19	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	2118,50
20	Термін окупності нового змішувача, років	-	1,9

Техніко-економічна оцінка експериментального змішувача показала, що в порівнянні з базовим він має переваги за експлуатаційними витратами за рахунок зменшення енергоємності та матеріалоемності. При вартості удосконалення (встановлення реборди та модифікація шнека) 4200 грн. отримано економію експлуатаційних витрат на рівні 2100 грн, отже строк окупності при впровадженні складе 1,9 роки.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Серед великої різноманітності змішувачів сипких кормів найбільш повно відповідає поставленим вимогам вертикальний шнековий змішувач періодичної дії, як той, що забезпечує високу якість суміші за рахунок циркуляції змішуються матеріалів всередині бункера. Такий змішувач має просту конструкцію, зручний в експлуатації і обслуговуванні, надійний в роботі, займає незначну площу виробничого приміщення.

2. Виконані теоретичні дослідження дозволили встановити, що для інтенсифікації процесу змішування компонентів всередині бункера можна здійснити за рахунок установки гвинтової реборди на внутрішній поверхні кожуха. Найбільші витрати енергії припадають на подолання сил тертя змішуваних матеріалів об кожух, а наявність на його внутрішній поверхні гвинтової реборди сприяє зменшенню цих витрат, оскільки підвищує частоту обертання матеріалу щодо шнека і швидкість його циркуляції всередині бункера. Доведено, що продуктивність вертикального шнека залежить головним чином від частоти його обертання і кута підйому спіралі.

3. Доведено, що шнек, що працює в комплекті з кожухом з ребордою, розвиває значно вищу (в 1,5-2,7 рази) швидкість переміщення матеріалу в порівнянні з варіантом роботи шнека з гладким кожухом. Найбільша швидкість переміщення матеріалу і найменша енергоємність отримані при застосуванні кожуха з установкою реборди перпендикулярно спіралі шнека. При цьому однорідність змішування становила не менше 96%. При роботі шнека з кожухом з установкою реборди перпендикулярно спіралі питома енергоємність процесу змішування зменшилася в 2,0-2,1 рази в порівнянні з варіантом роботи шнека з гладким кожухом.

4. Проведено аналіз стану охорони праці в лабораторії, згідно до нормативної документації та вимог охорони праці нами проведено обстеження розробленого змішувача сипких кормів,. Для їх уникнення запропоновано відповідні

заходи. Для розробленого змішувача сипких кормів проведено розрахунок захисного заземлення.

5. Техніко-економічна оцінка експериментального змішувача показала, що в порівнянні з базовим він має переваги за експлуатаційними витратами. При вартості удосконалення (встановлення реборди та модифікація шнека) 4200 грн. отримано економію експлуатаційних витрат на рівні 2100 грн, отже строк окупності при впровадженні складе 1,9 роки.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Єгоров, Б.В. Технологія виробництва комбікормів [Текст]: підруч. для вищ. навч. закладів/Б.В. Єгоров.–Одеса.: Друкарський дім, 2011.– 448 с.
2. Дудін В.Ю. Технологія виробництва і переробки продукції свинарства: навчальний посібник / М. Повод, О. Бондарська, В. Лихач, С. Жижка, В. Нечмілов та ін. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. – 360 с.
3. 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
4. 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
5. 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.
6. Дудін В.Ю. Дослідження енергетичних характеристик процесу змішування сипких кормів/ В.Ю. Дудін, Я.О. Муха, О.Ю. Лук'яненко // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Conduct of modern science - 2018 , November 30 - December 7, 2018. Construction and architecture. Agriculture. Modern information technology.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p.
7. Дудін В.Ю. Дослідження процесу різання коренеплодів / В.Ю. Дудін, І.А. Бородавка//Materialy XV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019» , Volume 10 Przemysł: Nauka i studia– 36-39 s.



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

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

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

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

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

13. <https://www.youtube.com/watch?v=ED1CLSN6sUc>

14. [http://mehzavod.com.ua/Materials/%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%B%D0%B5%D1%82\\_%D0%9C%D0%9A%D0%A3.pdf](http://mehzavod.com.ua/Materials/%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%B%D0%B5%D1%82_%D0%9C%D0%9A%D0%A3.pdf)

15. <https://www.youtube.com/watch?v=uVjg2cnGbMg>

16. [https://downloads.skiold.dk/downloads/leaflets/engelsk/disc-mill\\_gb.pdf](https://downloads.skiold.dk/downloads/leaflets/engelsk/disc-mill_gb.pdf)

17. <https://downloads.skiold.dk/downloads/feed/psheet/130986003949.pdf>

18. <https://agrostory.com/ua/info-centre/agronomists/mobilnyy-kombikormovyuy-zavod-i-perspektivy-ego-ispolzovaniya-/>

19. <https://propozitsiya.com/ua/kombikorm-na-kolesah>

20. <https://www.youtube.com/watch?v=QGzboM0oPas>

21. <https://riela.com.ua/peresuvna-ustanovka-kombikormiv/>

22. 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.

23. 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.

24. Баранецька О.Р. Вібраційне змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / О.Р. Баранецька // *Машинознавство*. – 2000. – № 3 (33). – С. 60–63.
25. 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.
26. 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.
27. 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).
28. Берник М.П., Цуркан О.В. Обґрунтування технологічних та конструктивних схем енергозберігаючих віброзмішувачів барабанного типу // *Вибрации в технике и технологиях*. – 2001. – №1 (17). – С. 34–37.
29. Цуркан О.В., Величко Л.Д. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача // *Вибрации в технике и технологиях*. – 2001. – №2 (18). – С. 3–7.
30. Берник П.С., Берник М.П., Цуркан О.В. Енергозберігаючі змішувачі для приготування сипучих кормів // *Техніка АПК*. – 2003. – №8. – С. 16–18.
31. Регресійний аналіз [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://libfree.com/114811945\\_ekonomikaregresiyuiy\\_analiz.html](http://libfree.com/114811945_ekonomikaregresiyuiy_analiz.html)- Назва з екрану.
32. 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.
33. 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.

34. 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.
35. Радик Д.Л., Гурик О.Я. Дослідження енерговитрат шнекового змішувача. - Тернопіль: Вісник ТДТУ, 2001, Том. 6, №3 - С56-61.
36. 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.
37. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин. Навч. посібник. -К.: НМК ВО, 1992. - 320 с.
38. Стадник І.Я. Науково-технічні основи дискретної дії на компоненти при перемішуванні : монографія / І.Я. Стадник. – Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2015. – 240 с.
39. Strenk F. Mieszanieimieszalniki (Mixing and mixingequipment) / F.Strenk. – Warszawa : Wydawnictwa NaukowoTechniczne, 1971. – 367 p.
40. 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.
41. Researching of the concentration distribution of soluble layers when mixed in the weight condition / I.Stadnyk, J.Pankiv, P.Navrylko, H.Karpyk // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – 2019. – Vol. 13. – № 1. – P. 581–592. DOI: 10.5219/1129. 5
42. Корнієнко Я.М. Процеси переносу в дисперсних системах : навч. посіб. / Я.М. Корнієнко, Р.В. Сачок. – Київ, 2011. – 132 с. 10. Расслоение в псевдоожигеном слое [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://repetitora.com/rassloeniev-psevdoozhizhenom-sloe>.
43. Drobot V.I. Technological calculations in baking production / V.I. Drobot. – Condor, 2010. – 440 p.