

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»
на тему: «Розробка удосконаленого технологічного обладнання для
подрібнення та змішування компонентів комбікормових сумішей»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
ступеня вищої освіти «магістр» групи 3
Олефір Владислав Олегович

Керівник: Скрипник В.О.

Рецензент: Дудніков І.А.

Полтава – 2023 року

ВСТУП

Актуальність теми.

Нині економічна ситуація у країні зумовлює інтенсивний розвиток невеликих виробництв, здатних швидко перебудовуватися на той чи інший вид продукції, що користується попитом у споживача. Використання передових технологій, що враховують такі фактори як енерго- та ресурсозбереження, можливість випуску широкої номенклатури виробів, робить актуальним розвиток цього напрямку.

Потреба у виробництві недорогих комбікормів потреб дрібних і середніх селянських і фермерських господарств постійно зростає. В той же час на сьогоднішній день відсутній серійний випуск комбікормового обладнання для вирішення цієї проблеми. Всі ці фактори зумовлюють необхідність розробки та використання нового обладнання, здатного, виробляти дешево, швидко і якісно, при цьому залишаючись надійним, універсальний, простий в експлуатації. У сучасних умовах ринкової економіки, при виробництві комбікормів, мікродобавок і БВС у невеликих кількостях, все більшого поширення набувають машини багатофункціональної дії що поєднують у собі два або більше фізичних процесів на матеріал. При поєднанні процесів подрібнення та змішування матеріалів на стадіях підготовки сировини, як правило, загальні енерговитрати знижуються.

Тенденції розробки машин, що поєднують у собі кілька процесів, роблять обґрунтованим створення подрібнювально-змішувачої машини здатної виробляти недорогі комбікорми для власних цілей з необхідною якістю продукції.

Мета роботи. Розробка та наукове обґрунтування конструкції подрібнювача-змішувача, що забезпечує отримання однорідних за складом комбікормів з необхідною крупністю частинок та визначення раціональних режимів його роботи.

Завдання дослідження:

1. Виробити уявлення про процеси подрібнення та змішування багатокомпонентних сумішей та їх сумісного математичного опису; визначити основні конструктивні параметри, що впливають на процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Розробити математичну модель процесу подрібнення та змішування багатокомпонентної комбікормової суміші, що описує взаємодію повітряно-продуктового шару компонентів з робочими органами подрібнювально-змішувальної машини, а також математичну модель процесу змішування при одночасному подрібненні компонентів суміші досліджуваного подрібнювача-змішувача.

3. Провести ідентифікацію та верифікацію математичних моделей процесу подрібнення-змішування багатокомпонентних комбікормових сумішей.

4. Розробити програмний засіб, що реалізує математичну модель, що дозволяє обчислити основні параметри процесів подрібнення та змішування, а також визначати основні характеристики процесів.

5. Виявити за допомогою експериментальних досліджень раціональні режими роботи створеної подрібнювально-змішувальної машини і провести оптимізацію процесів, що проходять.

6. Запропонувати нові конструкції подрібнювачів-змішувачів для виробництва комбікормів та визначити економічну ефективність від використання розробленої машини.

Об'єкт дослідження. Процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів у роторному подрібнювачі-змішувачі вертикального типу.

Методи дослідження. У роботі використовувалися аналітичні, графічні та експериментальні методи дослідження. Обробка результатів досліджень проводилася за допомогою комп'ютера із процесором Pentium III.

Практична значимість та реалізація досліджень:

- методика, що дозволяє розрахувати показники процесу змішування приодночасному подрібненні компонентів комбікормової суміші.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Взаємозв'язок швидкості руйнівного удару зернівки зі швидкістю продукто-повітряного шару

Як засвідчили дослідження, проведені у час Г.І. Шубом та Ф.Г. Поганим, в камері молоткової дробарки утворюється кільцевий шар продукту, що рухається, товщиною від 20 до 32 мм в залежності від величини завантаження дробарки.

Кільцевий шар переміщається в напрямку обертання молотків зі швидкістю, що дорівнює половині швидкості молотка, причому швидкість цього шару біля поверхні сита або деки становить 18-22 % від окружної швидкості молотків.

Швидкість молотків, з урахуванням швидкості шару визначають, як суму руйнівної швидкості молотка та швидкості шару, враховуючи швидкість продукто-повітряного шару, швидкість молотка для одноразового руйнування повинна бути в 1,5...2 рази вищою за розрахункову руйнівну.

Через неможливість організувати в робочій камері дробарки одиничний прямий удар правильніше розраховувати швидкість руйнування з урахуванням ступеня подрібнення λ і багаторазового впливу молотків на частинки матеріалу, що подрібнюється, за формулою

$$v_{раз} = \sqrt{K_3} \cdot (0,81 + 2,3 \cdot \lg \lambda). \quad (1.1)$$

Позитивним використанням K_3 цієї формули є спроба врахувати фізико-механічні властивості матеріалу K і рівень подрібнення, тобто. можливості обліку анізотропності зерна та багаторазових ударних навантажень. Однак на точності отриманих значень позначиться використання емпіричних коефіцієнтів.

Аналітичний вираз визначення швидкості продукто-повітряного шару, що враховує його щільність і геометричні параметри, і навіть тиск доквілля, запропоновано С.В. Антимоновим.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$v_{сл} = \sqrt{\frac{P_n - P_a}{\rho_{сл} \cdot \ln\left(\frac{r_n}{r_a}\right)}}, \quad (1.2)$$

де P_n – реактивний тиск на стінці робочої камери дробарки;

P_a – тиск повітря у робочій камері дробарки;

$\rho_{сл}$ – щільність продукто-повітряного шару;

r_n – зовнішній радіус шару;

r_a – внутрішній радіус шару.

1.2 Параметри, що характеризують процес подрібнення та його ефективність

Такі параметри, як потужність, потрібна на подрібнення, та продуктивність дробарки, не можна віднести до параметрів, що впливають на процес подрібнення. Однак, це параметри, що характеризують сам процес та його ефективність, відповідно, для їхньої оцінки також були запропоновані формули.

По А.Я. Соколову продуктивність і потрібну потужність пропонується визначати за формулами, що враховують властивості подрібнюваного матеріалу (щільність частинок ρ), конструктивні (розміри ротора D, L) та кінематичні (частота обертання ротора n) параметри дробарки

$$Q = K_1 \cdot \rho \cdot D^2 \cdot L \cdot n, \quad (1.3)$$

$$N = K_1 \cdot K_2 \cdot \rho \cdot D^2 \cdot Ln, \quad (1.4)$$

де K_1, K_2 – емпіричні коефіцієнти, що вибираються в залежності від необхідного ступеня подрібнення, конструктивних параметрів ротора та типу сировини.

Недоліком запропонованих формул (1.3-1.4) є введення емпіричних коефіцієнтів, що призводить до обмеженого застосування.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Л.А. Глебовим запропоновано формулу для визначення фактичної продуктивності дробарок при подрібненні окремих видів зернової сировини

$$Q_{\phi} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot Q, \quad (1.5)$$

де Q – паспортна продуктивність дробарки при подрібненні ячменю вологістю 13 % до великої кількості частинок проходом через сито з отворами діаметром 3 мм – не менше 95 %, кг/с;

K_1 – коефіцієнт розмолоздатності;

K_2 – Коефіцієнт енергоємності процесу подрібнення;

K_3 – коефіцієнт вологості.

Коефіцієнт K_1 у різних дробарок різних, а значення коефіцієнтів і K_3 змінюються в залежності від вологості вихідної сировини та крупності готового товару. Їхні величини визначаються за емпіричними формулами або за номограмами, отриманими в результаті досліджень. Енергоємність процесу визначають за формулою:

$$W = \frac{N_{роб}}{Q}, \quad (1.9)$$

де $N_{роб}$ – потужність електродвигуна дробарки при робочому навантаженні, кВт;

Q – продуктивність дробарки, кг/година.

Енергоємність процесу подрібнення в дробарці має вигляд:

$$W = \frac{N_{роб} - N_{xx}}{Q}, \quad (1.10)$$

де N_{xx} – потужність дробарки на холостому ходу, кВт.

Для енергетичної оцінки процесів подрібнення, крім цього, потрібно мати уявлення про глибину диспергування, тобто.

СВ. Мельниковим на підставі формули визначення ступеня подрібнення матеріалу запропоновано залежність абсолютного значення ступеня подрібнення зернових злакових культур від діаметра решета в камері дробарки:

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\lambda = \frac{D}{d}, \quad (1.11)$$

де D – середній розмір шматків вихідного матеріалу, мм;

d – середній розмір частинок продукту подрібнення, мм.

1.3 Аналіз конструктивних особливостей подрібнювальних машин

Основним обладнанням для подрібнення зерна у комбікормової промисловості та сільському господарстві є молоткові дробарки.

Молоткові дробарки можна класифікувати за способом подачі продукту в камеру подрібнення: з подачею радіальної продукту і з осьовою подачею продукту.

В даний час у комбікормової промисловості та вітчизняному сільському господарстві використовують молоткові та роторні дробарки наступних типів А1-ДМ2Р-55, А1-ДМР, А1-ДДП, А1-ДЦР, ДР 4×4, ДКУ-М, ДКУ-1,0, КДУ-2,0, рідше-ДДМ, ДМ, ДМ-440У, ММ-140 та ін, із зарубіжних-50/63В(22 Німеччина), дробарки фірм «Ван Аарсен», «Skiold». Крім того, враховуючи відносну легкість придбання нині зарубіжних дробарок, у наших господарствах та на комбікормових заводах можна зустріти дробарки інших західних фірм.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд подрібнювач ВНОS (Німеччина)

За останні роки провідними НДІ та КБ розроблені та впроваджені дробарки невеликої продуктивності – ДЗ-Т-1, ЕЗД-1 «Лек», подрібнювач зерна «Таврія», мікродробилки МКД-Ф-1 та МКДВ.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позитивні якості: стабільність процесу подрібнення різних видів зерна, можливість регулювання якості помелу, простота робочих органів, надійність в роботі.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд подрібнювач BHS (Німеччина)

До негативних факторів відносять, перш за все, різке зниження продуктивності та підвищення енергоємності при значному зносі зубів ротора та деки в процесі експлуатації, що потребує регулярної перестановки та заточування зубів.

За кордоном розробкою та виготовленням молоткових дробарок зайнято понад тридцять фірм.

Ведучими серед них є: «Бюлер», «Псітіп» (Швейцарія), «Амандус Каль», «Бушхофф і Баумгартен» (Німеччина), «Саймон-Баррон» і «Крісті Норріс» (Великобританія), «Джиза» та «Муамікс» (Італія), «Шутте» (США), «Хайд» (Австрія), «Скіюлд» (Данія), «Ван Аарсен» (Нідерланди) та інші.

Представником вітчизняних дробарок з радіальною подачею продукту є дробарка А1-ДМР, що випускається трьох модифікацій: А1-ДМР-6, А1-ДМР-12, А1-ДМР-20. Відмінності модифікацій полягають у довжині ротора, величині поверхні, що просіває, і потужності електродвигуна.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд дробарки «НІМЕЛ» серії HS (Німеччина)

Здійснюється випуск і новіших конструкцій дробарок. Дробарка ДЗ-6, що входить у лінію виробництва комбікормів продуктивністю 4 т/год, є однією з двох нових дробарок (друга – ДЗ-1, що має меншу продуктивність і невеликі конструктивні відмінності), які розроблені НПСГ Північно-Сходу для зниження енергоємності, підвищення надійності подрібнювального обладнання, покращення якості готового продукту. Відмінною особливістю ДЗ-6 є дека, складена із паралельних елементів (колосників) квадратного перерізу з можливістю зміни кута удару від 0° до 45°, що дозволяє безступінчасто змінювати ступінь подрібнення, своєчасно відводити готовий продукт із дробильної камери, більш довговічна, порівняно з ґратами. Дробарка забезпечує продуктивність до 6,3 т/год із можливістю регулювання модуля помелу від 15 до 21 мм.

В даний час намітилася тенденція до виробництва малогабаритних високоефективних дробарок продуктивністю 100-500 кг/год, які можна використовувати в малих фермерських та особистих підсобних господарствах.

З урахуванням сьогоденної економічної ситуації, виробляється таких дробарок досить багато, причому всі вони мають подібні характеристики. Прикладами дробарок такого типу є ДБК із продуктивністю до 80 кг/год; МДУ-1 з продуктивністю при ситах діаметром 2 мм – близько 400 кг/год; при ситах діаметром 5 мм – до 2т/год; ДР-230-3 з продуктивністю до 500 кг/год та ряд інших.

Серед зарубіжних конструкцій молоткових дробарок з радіальною подачею продукту найефективнішими є дробарки фірми «Бюлер-МІАГ» DMSE, Циналь,

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

DFZC. Для регулювання завантаження цих дробарок використовується вібраційний живильник з ручним або автоматичним керуванням. В останні роки багато зарубіжних фірм сконструювали дробарки, в яких передбачена заміна сит без зупинки електродвигуна, що скорочує простий дробарок.



Рисунок 1.5 – Зернодробарка молоткова серії RVO (Німеччина)

Французька фірма «Промілл» випускає дробарки моделі Брайер із пристроєм для заміни сит на ходу, крім того, на дробарках встановлені два електродвигуни (для забезпечення тонкого подрібнення в роботу включаються обидва одночасно).

Фірмою «ВАН-ААРСЕН» (Нідерланди) випускаються сучасні дробарки серії HM2D. Конструкція молоткових дробарок достатньо проста, і в той же час у ній враховані сучасні вимоги до обладнання для кормовиробництва: високий рівень автоматизації та можливість роботи в оптимальних режимах; наявність магнітного сепаратора та його очищення в автоматичному режимі; простота обслуговування; швидка заміна сит вручну або в автоматичному режимі; комплектування аспіраційним обладнанням; широкий діапазон зміни продуктивності за рахунок чотирьох типорозмірів конструкції; установки різної потужності та при необхідності двошвидкісних електродвигунів. Особливостями конструкції дробарки є наявність устрою-пастки для виділення важких частинок із потоку сировини за рахунок зміни траєкторії руху більш легких частинок продукту

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повітряним потоком і виготовлення монолітним ротора дробарки, що має велику масу, що, порівняно зі збірними роторами, різко знижує вібрацію всієї дробарки і підвищує надійність її роботи. Нові розробки фірми включають наявність регулятора частоти струму, що дозволяє змінювати частоту обертання ротора в широкому діапазоні і підбирати оптимальну швидкість, виходячи з особливостей сировини, що подрібнюється, і вимог до готової продукції. Це є новою ідеєю у напрямі покращення процесу подрібнення і цілком має право на існування.

Останнім часом все частіше можна зустріти конструкції дробарок з вертикальним робочим валом, в яких робочий процес організований з найбільшою ефективністю за рахунок повнішого використання енергії ударів робочих органів.

З'явилися нові конструкції подрібнювачів. Так, за даними Я.Л. Гіршсона, і потім Ф.Л. Когуса найбільш економічним способом руйнування зерна є різання: зерно чинить опір при різанні в 3-4 рази менше, ніж при стисканні. Отже, застосування цього способу у відповідних робочих органах дробарки має дати позитивний результат.

Однак, при проведенні випробувань дробарок, забезпечених молотками у вигляді фрез, що подрібнюють корм за принципом різання, 25 не дало очікуваного ефекту. Навпаки, питома витрата енергії зросла більш ніж удвічі. В даний час розробляються та виробляються ентолейтори та інші дробарки, в яких руйнування зернового продукту відбувається в результаті його розгону на кидкових пристроях - тримерів у радіальному напрямку, і наступного удару об корпус дробарки. Така дробарка не має робочих органів, що швидко зношуються (молотків, бичів, сит). Творці конструкції дробарки стверджують, що три стадії процес подрібнення знижує знос деталей і енергоємність процесу в 2-3 рази і збільшує однорідність помелу по заданому гранулометричному складу.

Дробарки для подрібнення зерна, що випускаються в даний час, можна підрозділити за продуктивністю на дві групи: для особистих господарств – 130 кг/год при встановленій потужності електродвигуна 0,45-1,6 кВт і для великих виробництв – 1,0-5,0 т /год за потужності 22-36 кВт.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На жаль дробарки, призначені для особистих господарств, є зменшеними копіями дробарок промислового типу з властивими їм недоліками: складність виготовлення; велика кількість дорогих комплектуючих виробів; неможливість відновлення зношених робочих органів у нормальних умовах. Все це викликало необхідність у недорогих, простих у виготовленні та експлуатації дробарок, призначених для подрібнення зерна, що йде на корм тваринам та птиці. Тому виникла потреба у створенні нових конструктивно-технологічних схемах дробарок.

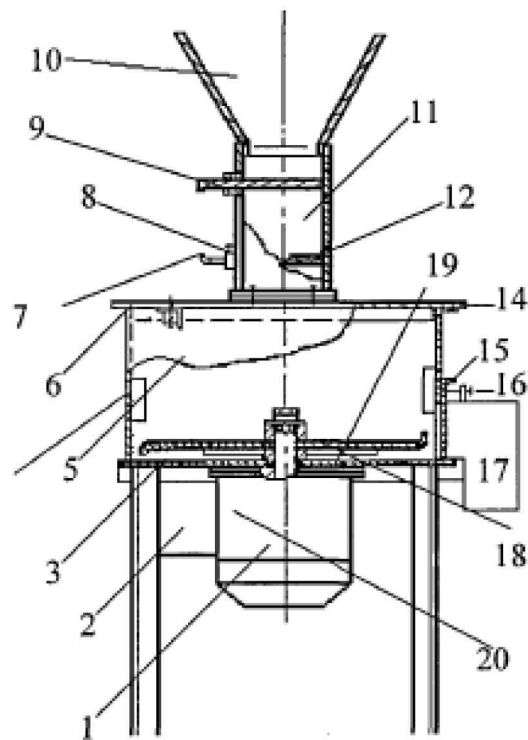
Конструкція такої дробарки представлена на рис. 1.6. Дробарка працює в періодичному та безперервному режимі. Працюючи в періодичному режимі щільно закривають верхню і нижню заслінки, встановлюють суцільний шибер і включають електродвигун. У бункер засипають зерно. Переконавшись, що електродвигун набрав номінальне число оборотів, відкривають верхню заслінку, заповнюють дозатор зерном, після чого цю заслінку закривають, а нижню відкривають. Закривають її через 2-3 с. після випорожнення дозатора.

Аналогічно в робочу камеру дробарки засипають ще одну порцію зерна і подрібнюють протягом двох хвилин. Потім відкривають шибер і розмелене зерно вивантажується через горловину в мішок, закріплений на ній. Далі процес повторюється аналогічно до описаного вище.

При дробленні зерна в безперервному режимі замість суцільного шибера встановлюють шибер з отворами діаметром 3, 4 або 5 мм залежно від модуля помелу. Повністю відкривають верхню заслінку, а нижню заслінкою встановлюють необхідний зазор між козирком краєм прямокутного вікна в заслінці.

Потім нижню заслінку в такому положенні фіксують болтом, закривають верхню і включають електродвигун і засипають зерно у бункер. Відкривають верхню заслінку, зерно заповнює ємність дозатора, і через встановлений зазор у потрібній кількості надходить в робочу камеру дробарки. Роздроблені частинки зерна через отвори в шибер і горловину вивантажується в мішок. Автори даної конструкції дробарки при її розробці зробили спробу врахувати властивості продукто-повітряного шару, однак наведені міркування про величину швидкості цього шару не є серйозним науковим дослідженням.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – електродвигун; 2 – пускач; 3 – корпус; 4 – відбійник; 5 – обичайка; 6 – кришка; 7 – нижня заслінка; 8, 16 – стопорні болти; 9 – верхня заслінка; 10 – бункер; 11 – дозатор; 12 – козирок; 13 – болт; 14 – прокладка; 15 – шибер; 16 – вивантажувальна горловина; 18 – молоток; 19 – лопата; 20 – втулка

Рисунок 1.6 – Технологічна схема дробарки

Ці процеси у свою чергу значно впливають на якість готової продукції. У свою чергу, якість комбікормів залежить також від однорідності суміші готового продукту. Чим вище однорідність комбікорму і вирівнюваність по крупності його частинок, краще засвоюваність сільськогосподарськими тваринами. Наявність пилоподібних частинок у розсипному комбікормі також знижує його якість. Недоліками такого продукту є втрати при завантаженні, розвантаженні, транспортуванні та роздачі корму. Усе це призводить до збільшення витрат товару у середньому 10-15 %.

У процесі подрібнення зернової сировини в дробарках та подрібнюючих машинах відбуваються процеси подрібнення та змішування.

1.4 Аналіз конструктивних особливостей змішувачів

Змішувачі широко використовують при виробництві кормів, повнораційних сумішей, комбикормів, преміксів та білково-вітамінних добавок (БВМД) у різних галузях народного господарства. На сьогоднішній день існує безліч конструкцій змішувальних пристроїв, що відрізняються один від одного за дуже багатьма ознаками: за способом установки (стаціонарні або пересувні); за механізмом процесу змішування (дифузійного, конвективного чи дифузійно-конвективного змішування); за характером технологічного процесу (періодичної чи безперервної дії); за способом на суміш (гравітаційні, пневматичні, вібраційні та інших.); за способом переміщення частинок (циркуляційні, з хаотичним переміщенням; частинок); за конструктивними відмінностями (спіральні, лопатеві, з обертовим перемішувачим органом і нерухомим корпусом, з обертовим корпусом і стаціонарними робочими органами, з вертикальними, похилими, горизонтальними і валами, що перехрещуються); за способом завантаження-розвантаження (ручне або механічне); по суміщенню з іншими технологічними операціями (що транспортують-змішують, подрібнювально-змішують та ін).

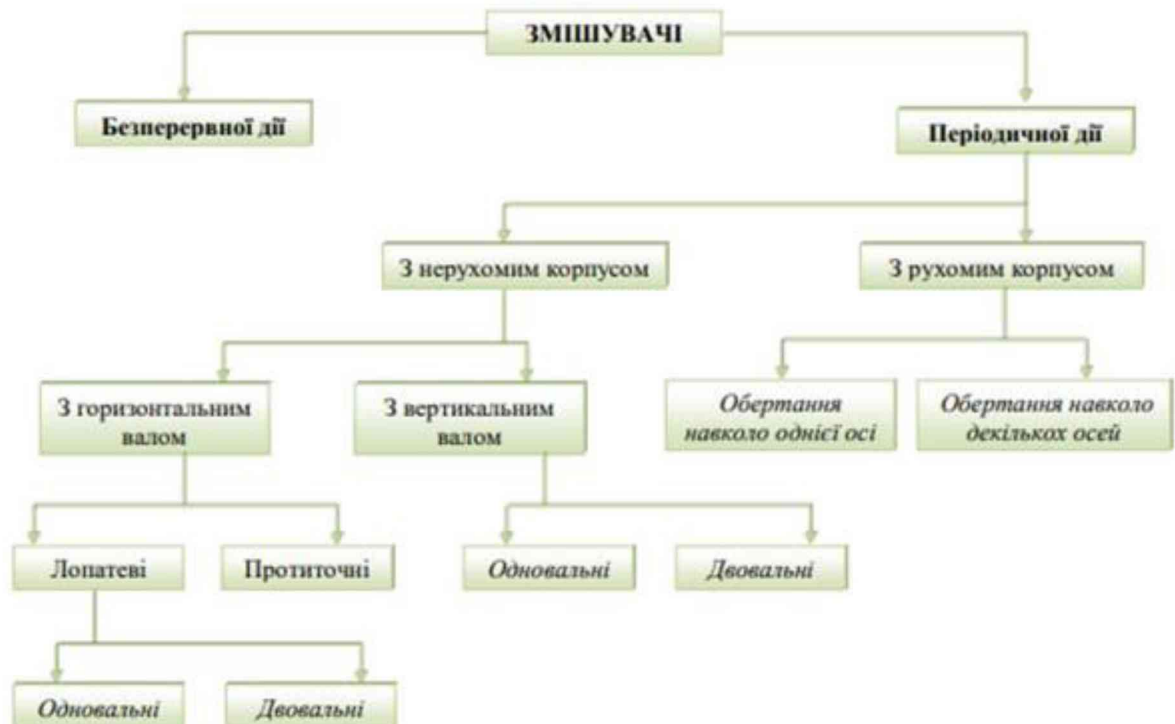


Рисунок 1.7 – Класифікація змішувачів сипучого матеріалу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Змішувачі комбікормів з рухомим корпусом – це тип змішувачів для комбікормів, які використовуються для змішування різних компонентів суміші. У таких змішувачах змішувальний корпус знаходиться на підвісі і може рухатися в різних напрямках, що забезпечує більш повне змішування різних компонентів. Перевагою змішувача з рухомим корпусом є: - невелика вартість; простота конструкції, нескладна заміна складових. Недоліками змішувача з рухомим корпусом є: - значні затрати часу на змішування; - неоднорідність змішування; - низька продуктивність; - малий об'єм порції змішування; - неможливість змішування рідких компонентів сумішей.



Рисунок 1.8 – Змішувач комбікормів СРБ-1 з рухомим корпусом

Внаслідок невеликої швидкості обертання змішувальних валів $n = 10 - 15 \text{ хв}^{-1}$ процес змішування в апаратах з лопатевими робочими органами, що обертаються, відносно тривалий.

Змішувачі з вертикальним валом змішування складаються з вертикального бака, в якому розміщений вал з лопатями, що забезпечують перемішування компонентів та працюють за наступним принципом: шнеки піднімають матеріал знизу нагору, матеріал обсипається вниз, тобто весь час рухається по колу, тим

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

самим перемішуючись. У нижній лоток додаються мікроелементи та олія (рідкі компоненти).



Рисунок 1.9 – Змішувач комбікормів КС-600 з вертикальним валом змішування

Високоєфективними апаратами для змішування сипких матеріалів є безперервно діючі змішувачі з псевдозрідженням матеріалу ротором фірми «Хеншель», що швидко обертається.

Інтенсивна циркуляція сипкого матеріалу, необхідна для ефективного змішування, досягається також в змішувачах відцентрової дії з конусом, що обертається. Конструкція змішувача відцентрової дії була розроблена і вивчена в МИХМ.

Прямоточний відцентровий змішувач-подрібнювач «Інтолетер», що випускається англійською фірмою «Генрі Сімон», використовується у тих випадках, коли необхідно поєднати операції змішування та дроблення. Для подрібнення та змішування різних компонентів використовується подрібнювач-змішувач кормів ІБК-3. Він був розроблений замість дробарки-подрібнювача ДИС-1М і значно

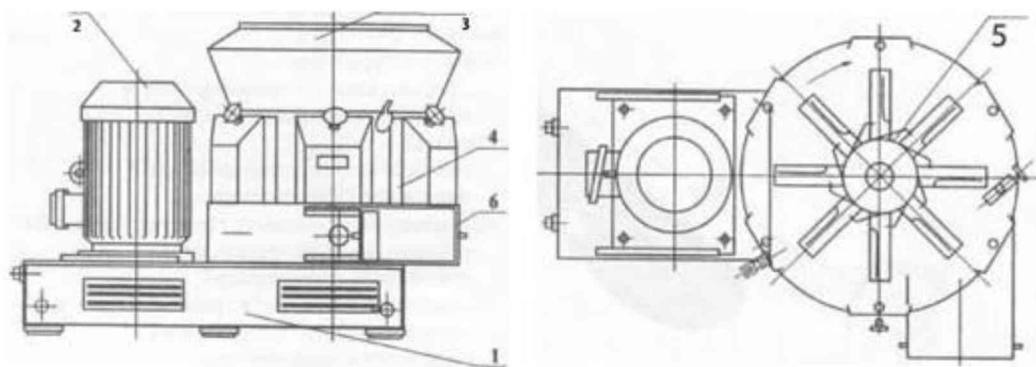
					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевершує його за техніко-економічними показниками. Подрібнювачі-змішувачі типу ІС-30, ІБК-30, ІБК-3 добре переробляють сіно та соломку будь-якої вологості. Їх конструктивно-технологічні схеми аналогічні, проте ІБК-3 найбільш ефективний.

Подрібнювач-змішувач кормів (рис.1.10) подрібнювач-змішувач кормів ІБК-3А призначений для доподрібнення та змішування різних компонентів при приготуванні повнораційних кормосумішей у кормоприготувальних відділеннях ферм великої рогатої худоби.

Машина може бути використана як подрібнювач сіна, гілкового корму та соломи будь-якої вологості. При змішуванні кормів машина дозволяє одночасно вносити різні мікродобавки, а при олужуванні соломи розчини луку. Машина може застосовуватися як подрібнювач у потокових лініях термохімічної обробки соломи, так і у складі потокових технологічних ліній виготовлення кормосумішей для ферм великої рогатої худоби.

Подрібнювач-змішувач кормів може бути застосований у всіх природно-економічних зонах з річним обсягом виробітку на приготуванні кормосумішей до 20000 голів.

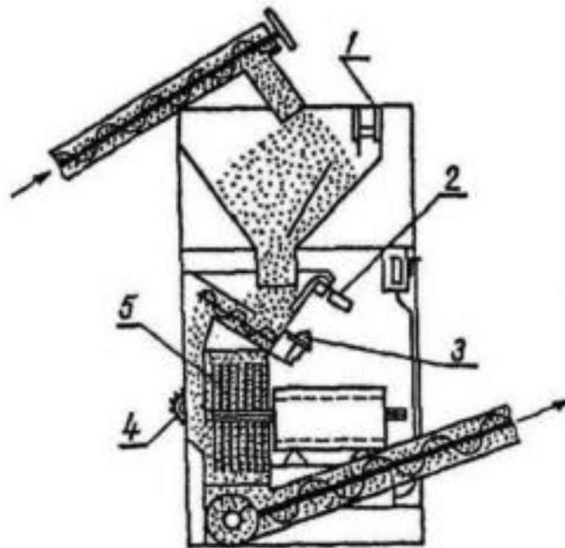


1 – рама; 2 – електродвигун; 3 – приймальна камера; 4 – лопатевий кидальник; 5 – нерухомі ножі (протиризальні елементи); 6 – робоча камера

Рисунок 1.10 – Конструктивно-функціональна схема (а) та загальний вигляд подрібнювача – змішувача кормів ІБК-3А

Для переробки зернових компонентів промисловість США випускає кілька типів дробилок-змішувачів, які встановлюють у зерноскладах або потоці кормороздавальної лінії (рис. 1.11).

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – вимикач; 2 – вмикач шнека; 3 – дозатор; 4 – магніт; 5 – дробарка

Рисунок 1.11 – Дробарка-змішувач застосовується в США

Встановлення «Мікс-Мілла» (рис. 1.11) влаштовано та працює наступним чином. Різні види зерна, що підлягають подрібненню та змішуванню, шнеками завантажуються у певному співвідношенні до приймального бункера. Дозатор 3 подає зернову суміш дробилку 5. При цьому магніт 4 очищає зерно від металевих домішок. Подрібнені та змішані корми вивантажуються шнеком у транспортні засоби. Налаштування установки на роботу за заданим рецептом здійснюється завантажувальними шнеками, приймальна частина яких має пристрої, що дозволяють регулювати їхню продуктивність. У міру визволення бункера спрацьовує автоматичний вимикач 2 і всі чотири шнеки включаються в роботу. Подачу зерна в дробарку регулюють зміною оборотів шнекового.

Промисловість США випускає інші дробарки-змішувачі технічні дані, представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Короткі технічні дані дробарок-змішувачів

Тип дробарки	Потужність електродвигуна, л. с.	Можливе кількість компонентів	Тип дозатора
«Мікс-Мілла»	2; 3; 5	4	Шнековий
«Грейн-Майстер»	2; 3; 5; 10	5	Телескопічний
«Ауто-Райшен»	3,5	4	

У сучасних умовах ринкової економіки, при виробництві комбикормів, мікродобавок і БВС у невеликих кількостях, все більшого поширення набувають

машини багатофункціональної дії, що поєднують у собі два або більше фізичних процесів на матеріал. При поєднанні процесів подрібнення та змішування матеріалів на стадіях підготовки сировини, як правило, загальні енерговитрати знижуються. Спільне подрібнення компонентів комбікормів майбутньої суміші, в одному технологічному комплексі без додаткового транспортування їх магістралями або живильниками виключає зі схеми бункера для проміжного зберігання матеріалів. У сучасних умовах ринкової економіки, при виробництві комбікормів, мікродобавок і БВС у невеликих кількостях, все більшого поширення набувають машини багатофункціональної дії, що поєднують у собі два або більше фізичних процесів на матеріал. При поєднанні процесів подрібнення та змішування матеріалів на стадіях підготовки сировини, як правило, загальні енерговитрати знижуються. Спільне подрібнення компонентів комбікормів майбутньої суміші, в одному технологічному комплексі без додаткового транспортування їх магістралями або живильниками виключає зі схеми бункера для проміжного зберігання матеріалів, що, своєю чергою, виключає його стеження, і навіть насичення атмосферної вологою.

Для ефективного проведення процесу подрібнення та змішування зернових компонентів комбікормів необхідно вивчити ці два процеси в сукупності.

Найбільш повно процес змішування при супутньому подрібненні твердих кускових та сипких матеріалів у хімічній промисловості досліджував академік Кафаров В.В. На думку Кафарова В.В., процес подрібнення чи змішування є типовий випадковий марківський процес. Для його опису найбільш ефективно застосовувати другий вид марківських процесів дискретні в просторі частинок, що змішуються або подрібнюються, і безперервні в часі. Для опису таких процесів застосовують диференціально-різносні рівняння Колмогорова. Ґрунтуючись на цих принципах, їм було запропоновано опис процесу подрібнення та змішування сипучого матеріалу.

Математичний опис процесу змішування при одночасному подрібненні має вигляд:

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{d \cdot (c_A - m_A)}{dt} = -k e^{\gamma} \cdot [(c_A - m_A)^2 - D_A] \quad (1.12)$$

де γ – коефіцієнт, що характеризує швидкість подрібнення частинок компонента;

k – константа зміни швидкості процесу змішування;

c_A, m_A – концентрація та математичне очікування концентрації компонента;

D_A – дисперсія, що характеризує процес сепарації; що характеризують незавершеність процесу змішування.

Зазначений підхід стосовно харчової промисловості застосував професор А.Т. Лисовенка.

Для опису процесу подрібнення та змішування компонентів комбікормів у робочій камері роторного подрібнювача-змішувача найбільш прийнятними є теоретичні положення, відображені в роботах В.В. Кафарова та А.Т. Лисовенка, оскільки є простими та досить точно описують реальні процеси.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЮВАЧА-ЗМІШУВАЧА

2.1 Теоретичні основи процесу змішування кормових сумішей

Змішування матеріалів є процесом, що широко використовується. Воно застосовується у керамічній, хімічній, будівельній, переробній, хлібопекарській промисловості, сільському господарстві та комбикормової промисловості, зокрема для приготування комбикормових продуктів для тварин. Тому питання змішування розглядалися досить широко.

Існують такі моделі процесу змішування:

- 1) моделі дифузійного змішування;
- 2) моделі кінетики процесу змішування;
- 3) кібернетичні моделі процесу змішування;
- 4) імовірнісні (стохастичні) моделі процесу змішування;
- 5) статистичні моделі процесу змішування.

У своїх пошуках вчені звернулися до різних питань, що стосуються процесу утворення кормосуміші. В результаті досліджень було зроблено висновок, що процес змішування є складним механічним процесом, механізм дії якого залежить головним чином від конструкції змішувача.

I – конвективне змішування переміщення групи суміжних частинок з одного місця в інше використанням, ковзанням шарів;

II – дифузійне змішування поступове розподіл частинок через межу їхнього розділу;

III – сегрегація зосередження частинок, близьких за масою та розмірами відповідних ділянках змішувача під дією інерційних та гравітаційних сил.

Процес сегрегації за своєю дією на суміш протилежний першим двом процесам: він погіршує якість суміші. При перемішуванні частинок у змішувачі одночасно протікають усі три елементарні процеси.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k = f_n(t) - f_0(t), \quad (2.1)$$

де k – показник однорідності суміші;

$f_n(t), f_0(t)$ – функції, що характеризують прямий (конвективне та дифузійне змішування) та зворотний (сегрегація) процеси.

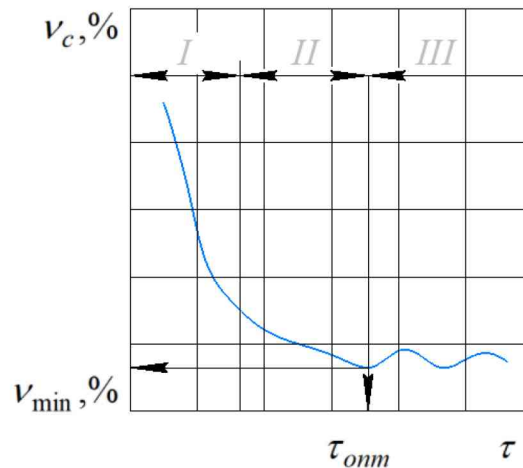


Рисунок 2.1 – Характер зміни коефіцієнта неоднорідності суміші від тривалості змішування

У роботі розглянуто зміну процесу змішування у часі як зміна концентрації C досліджуваного інгредієнта та обґрунтована залежність швидкості процесу змішування від зміни C в одиницю часу і $v = d \cdot C_t / dt$.

Зважаючи на складний характер процесу швидкість змішування залежить від багатьох різних показників, тому в принципі кожен випадок має бути розглянутий окремо. Тільки чистого дифузійного змішування можна знайти певні закономірності.

Стренк Ф. навів кілька найбільш часто цитованих рівнянь швидкості змішування і представив їх у загальному вигляді.

$$M^* = 1 - e^{-kt}, \quad (2.2)$$

де M^* – довільно виражена ступінь змішування, що змінюється від 0 до одиниці для повністю змішаної маси;

k – константа швидкості змішування, що враховує фізико-механічні властивості матеріалу, геометрію та режими роботи змішувача;

t – тривалість змішування.

У цій формулі коефіцієнт є різним у кожному конкретному випадку, а тому він не розкриває вплив окремих факторів на показники процесу змішування. Цей недолік притаманний і іншому рівнянню процесу змішування:

$$v_c = A \cdot (\omega \cdot t)^{-B} + D \cdot \lg(\omega \cdot t), \quad (2.3)$$

де v_c – відносна неоднорідність суміші;

ω – частота обертання робочого органу;

t – тривалість змішування.

A, B, D – постійні величини, що залежать від фізико-механічних властивостей інгредієнтів і технологічних факторів змішувача» причому A і B – емпіричні коефіцієнти, що характеризують «ідеальне» змішування, D – емпіричний коефіцієнт, що характеризує поділ суміші.

Через необхідність експериментального визначення коефіцієнтів поздовжнього змішування \bar{D}_L і поперечного змішування \bar{D}_R значно знижується цінність дифузійної моделі змішування, що описується рівняннями поздовжнього змішування

$$\frac{dC}{dt} = -v \frac{dC}{dx} + \bar{D}_L \frac{d^2C}{dx^2}, \quad (2.4)$$

поздовжнього та поперечного змішування

$$\frac{dC}{dt} = -v \cdot \frac{d \cdot C}{d \cdot x} + \bar{D}_L \cdot \frac{d^2 \cdot C}{d \cdot x^2} + \frac{\bar{D}_R}{R_a} \cdot \frac{d}{d \cdot R_a} \cdot \left(R_a \cdot \frac{d \cdot C}{d \cdot R_a} \right), \quad (2.5)$$

де C – концентрація ключового інгредієнта;

t – час;

v – лінійна швидкість потоку;

x – координата;

R_a – радіус поперечного перерізу апарату.

У роботі побудована дифузійна модель процесу змішування, при якому надходять до змішувача через різні входи велика і дрібна фракція стеблинних кормів перемішуються в результаті поршневого витіснення. Однак недоліком цієї моделі є те, що для її виконання необхідний попередній поділ стебельчастих кормів на

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фракції коефіцієнт поділу кормів на фракції а та кінцеве середньоквадратичне відхилення визначаються експериментальним шляхом. Для опису процесу змішування в змішувачах періодичної дії може бути використана осередкова модель.

$$\frac{1}{m} \cdot \frac{d \cdot C}{d \cdot t} = t_n \cdot (C_{i-1} - C_i), \quad (2.6)$$

де $i=1, 2 \dots m$;

m – число осередків, куди розбитий весь апарат;

t_n – середній час перебування частинок в осередках від першої до $(i-1)$ -ї;

C_{i-1} – концентрація контрольного інгредієнта в $i-1$ -му комірці;

C_i – концентрація контрольного інгредієнта в i -й комірці.

Використання цієї моделі обмежується за рахунок того, що в змішувачах мобільних машин дуже важко визначити t_n .

У роботах моделювання процесу змішування здійснювалося як графів з вершинами, що характеризують геометричне місце точок, де потік корму змінює свій напрям, і ребрами, що є зони ідеального змішування і витіснення.

Г.М. Кукта та А.І. Голосів пропонують наступне рівняння для опису процесу змішування:

$$\sigma = \sigma_a + (\sigma_0 - \sigma_a) \cdot e^{-t/\tau}, \quad (2.7)$$

де σ – поточне значення середньоквадратичного відхилення концентрації контрольних компонентів у пробах;

σ_0, σ_a – початкове та кінцеве значення СКО;

τ – коефіцієнт, пропорційності, що має розмірність часу та характеризує інтенсивність роботи змішувача, його конструктивні особливості, стан та здатність компонентів до змішування.

У більшості моделей змішування одним з основних факторів, що впливають на якість суміші, є швидкість змішування, яка у свою черга залежить від осьової

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкості переміщення матеріалу в змішувачі. Так у роботі отримано наступне вираження осьової швидкості переміщення матеріалу в лопатевому змішувачі.

$$v_0 = \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot S \cdot \omega \cdot (k_{лш} - 1) \frac{\sin \alpha_{шн} \cdot \cos(\alpha_{шн} + \theta_2)}{\cos \theta_2}, \quad (2.8)$$

де $k_{лш}$ – кількість лопатей на один крок;

ψ_1 – коефіцієнт, що враховує повертання маси в U-подібному корпусі;

ψ_2 – коефіцієнт, що враховує розрив гвинтової поверхні;

S – крок гвинтової поверхні, м;

$\alpha_{шн}$ – кут підйому гвинтової лінії, град.;

θ_2 – кут тертя корму про лопату, град.;

ω – кутова швидкість обертання лопатєвого валу, c^{-1} .

Якщо коефіцієнт ψ_2 можна як ставлення поверхонь лопатей в одному кроці, то визначення коефіцієнта ψ_1 проводиться експериментальним шляхом, що ускладнює використання виразу (2.8).

А.І. Пелєєв рекомендує використовувати при розрахунках для визначення осьової швидкості вираз виду

$$v = \frac{b \cdot k_{лр} \cdot \omega}{60} \cdot (\sin \gamma - f_2 \cdot \cos \gamma) \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma, \quad (2.9)$$

де b – ширина лопаті, м;

$k_{лр}$ – кількість лопатей, що встановлюються в одному ряду (у поперечному перерізі ринви).

Вираз (2.2) може бути використаний тільки для прямих з постійною шириною лопат. Тривалість процесу змішування автор визначає за формулою:

$$t = \frac{\ln \left[\frac{C_H}{C_H + C_k} \right]}{p}, \quad (2.10)$$

де C_H, C_k – масова частка компонентів на початку та наприкінці процесу;

p – постійний параметр, який визначається експериментально.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективність змішування визначається також кількістю енергії, що витрачається для досягнення необхідного технологічного ефекту. Щоб розрахувати ефективність змішування, необхідно знати рівняння, що визначають потужність, споживану робочими органами при змішуванні. Тому в ряді робіт на основі теоретичних аналізів отримані вирази для визначення параметрів, необхідних для розрахунку енергоємності процесу змішування, так і самої потужності в лопатевих змішувачах. У роботі, розглянувши динамічне взаємодія частинок корми і лопатей змішувача, автор пропонує вираз, що дозволяє визначитися частоту обертання робочих органів, коли він забезпечується сход частинок з лопатей, тобто. активний процес перемішування кормових інгредієнтів

$$n_{\text{меш}} \geq \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \cos \gamma \cdot (\sin \varphi - f^2 \cdot \cos \varphi)}{R}}, \quad (2.11)$$

де φ – кут повороту лопаті до вертикальної осі валу, град.

А.М. Спадкоємців, застосовуючи закони динаміки в'язких середовищ, отримав наступне вираз визначення потужності, потрібної на привід лопатевого змішувача

$$N_{\text{меш}} = A_n \cdot \frac{\omega \cdot \sigma}{150} \cdot k_{\text{лм}} \cdot \left[l_{\text{л}} \cdot (R^2 - r^2) + \frac{\pi \cdot d_{\text{л}}}{2} \cdot r^2 \right], \quad (2.12)$$

де A_n – деякий коефіцієнт пропорційності, що залежить від величини завантаження і від числа Рейнольдса Re;

$k_{\text{лм}}$ – кількість лопатей, занурених у масу;

σ – напруга сили внутрішнього опору середовища тілу, що рухається в ній, Н/м;

$l_{\text{л}}$ – довжина лопаті, м;

r – відстань від осі обертання до лопаті, м.

Складність у визначенні коефіцієнта A_n ускладнює використання та цієї формули. Вираз (2.13) може бути застосований тільки для змішувачів безперервної дії, так як коефіцієнт заповнення таких машин невеликий і в масу, що перемішується, занурена тільки частина від загальної кількості лопатей.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так як потужність лінійно залежить від моменту, що крутить, то в роботі було приділено увагу визначенню саме величини крутного моменту

$$M_{кр} = k_l \cdot b \cdot \rho \cdot \sin \gamma \cdot (1 + f_1 \operatorname{ctg} \gamma) \cdot \left[(R^3 - r^3) \cdot (0,0009 \cdot f_1 \cdot R \cdot n_{мениш}^2 - 0,24) + 0,86 \cdot f_1 \cdot R \cdot (R^2 - r^2) \right] \quad (2.13)$$

де k_l – кількість лопатей на валу;

f_1 – коефіцієнт тертя кормового матеріалу про днище.

Фехлауер та Алберт розглядали процес змішування в лопатевому змішувачі з робочими органами у вигляді паралельних пластин, конфігурація яких є частиною шнекової навівки з різним напрямком. Представляючи конвективне змішування в цьому змішувачі у вигляді двох протилежно спрямованих потоків, передбачувану потрібну потужність рекомендується обчислити за допомогою виразу для визначення потужності, що витрачається на привід шнекового транспортера

$$N = m \cdot L \cdot g \cdot f_{cp}, \quad (2.14)$$

де m – потік маси, кг/с;

L – довжина змішувача, м;

f_{cp} – порівняльний коефіцієнт тертя, визначається експериментально.

Більшість робіт з вивчення процесу змішування проводилися на сипких кормах або в'язких середовищах. У роботі досліджувалося приготування лопатевими змішувачами кормосуміші для великої рогатої худоби. Автор встановив, що потужність, потрібна на привід змішувача, витрачається на подолання сил опору переміщенню

$$N = N_u + N_l + N_k + N_v + N_z, \quad (2.15)$$

де N_u, N_l, N_k, N_v, N_z – потужності, що витрачаються відповідно на подолання сил інерції, тертя суміші про лопату, тертя суміші про поверхню корпусу, внутрішнього тертя маси та затискання маси між корпусом і лопатою.

Причому складова N_z має особливо велику вагу при змішуванні зв'язкових кормосумішей, що включають грубі корми. Проте жодних рівнянь визначення значень автором не представлено. На основі наведених моделей і формул можна

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сказати, що процес змішування обумовлений великою кількістю змінних факторів, що викликає труднощі у визначенні різних параметрів змішувальних пристроїв та встановленні закономірностей протікання цього процесу. Тому більшість робіт із вивчення змішування носять експериментальний характер. Роблячи висновок із зазначених робіт, можна зробити висновок, що дослідженню процесу змішування властивий емпіризм, що обмежує поширення отриманих результатів на робочі процеси машин інших конструкцій. Однак у всіх цих роботах виявлено загальні фактори, що впливають на процес змішування в установці з лопатевими робочими органами. До таких факторів відносять:

- частота обертання валу з робочим органом (лопатями) ω ;
- висота змішувача H ;
- кут атаки лопаті γ ;
- ширина лопаті b ;
- кількість лопатей k_l ;
- швидкості руху частин, що перемішуються v_c ;
- фізико-механічні властивості кормів, що перемішуються.

З наведеного огляду видно, що з вивчення процесу змішування необхідно враховувати зазначені чинники до створення моделі адекватно описує процес змішування комбікормових продуктів.

2.2 Дослідження силової взаємодії середовища з робочими органами подрібнювача-змішувача

Профіль окружної швидкості $v_1(r)$ представляє в повітряно-вихровій зоні плавну безперервну функцію (рис. 2.2).

Для її знаходження скористаємося напівемпіричним рішенням. Використовуємо поняття наведеного радіуса \bar{r} і наведеної кутової швидкості $\bar{\omega}$:

$$\bar{r} = \frac{r}{r_a}, \bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad (2.16)$$

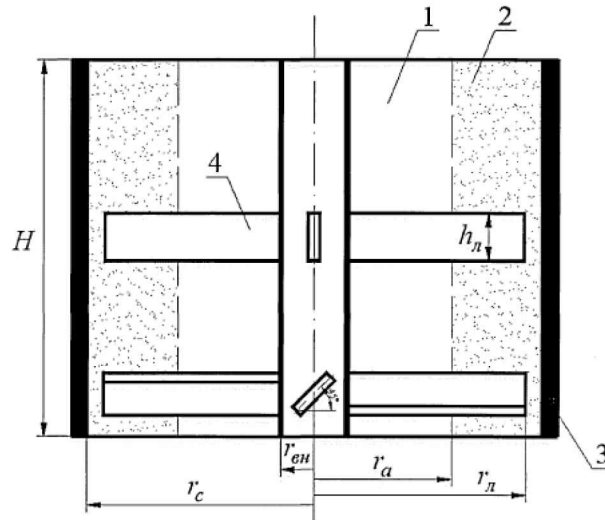
					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де r – текучий радіус, м;

r_a – радіус внутрішньої межі повітряно-продуктового шару, м;

ω – кутова швидкість потоку, c^{-1} ;

ω_0 – кутова швидкість ротора подрібнювача-змішувача, c^{-1} .



1 – повітряно-вихрова зона; 2 – повітряно-продуктовий шар; 3 – обичайка; 4 – лопатя робочого органу.

Рисунок 2.2 – Структура робочого простору роторного подрібнювача-змішувача вертикального типу

З виразів (2.1) випливає залежність для наведеної швидкості

$$\bar{v}(\bar{r}) = \frac{v(r)}{\omega_0 \cdot r_a}, \quad (2.17)$$

де $v(r)$ – окружна швидкість потоку, м/с.

Представимо наведену окружну швидкість (2.17) у повітряно-вихровій зоні у вигляді статежного ряду за ступенями наведеного радіусу. Обмежимося чотирма членами ряду:

$$\bar{v}_1(\bar{r}) = \bar{r} \left(\psi_1 \bar{r}^3 + \psi_2 \bar{r}^2 + \psi_3 \bar{r} + \psi_4 \right); \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1. \quad (2.18)$$

За даними різних дослідників швидкість повітряно-продуктового шару знижується зі збільшенням радіусу. Припустимо, що ця залежність має вигляд

$$\bar{v}_2(\bar{r}) = \frac{\bar{v}_2(1)}{\bar{r}}. \quad (2.19)$$

Невідомі коефіцієнти полінома ψ_3, ψ_4 знайдемо з наступних припущень:

$$\text{при } \bar{r} = 0: \quad \bar{\omega} = 1; \frac{d\bar{\omega}}{d\bar{r}} = 0. \quad (2.20)$$

Підставивши вираз

$$\bar{\omega} = \frac{\bar{v}_1 \cdot (\bar{r})}{r}, \quad (2.21)$$

з урахуванням (2.18) в умові (2.20), отримаємо що $\psi_3 = 0, \psi_4 = 1$.

Тоді вираз (2.3) можна перетворити на вигляд:

$$\bar{v}_1(\bar{r}) = \bar{r} \cdot (\psi_1 \cdot \bar{r}^3 + \psi_2 \cdot \bar{r}^2 + 1). \quad (2.22)$$

Граничні умови для визначення ψ_1 і ψ_2 знайдемо, використовуючи умову безперервності профілів швидкості на межі двох областей до другої похідної включно:

$$\text{при } \bar{r} = 0: \quad \bar{v}_1(1) = \bar{v}_2(1); \frac{d \cdot \bar{v}_1}{d \cdot \bar{r}} = \frac{d \cdot \bar{v}_2}{d \bar{r}}; \frac{d^2 \cdot \bar{v}_1}{d \cdot \bar{r}^2} = \frac{d^2 \cdot \bar{v}_2}{d \cdot \bar{r}^2}. \quad (2.23)$$

Використовуючи умову рівності швидкостей за умов (2.23), з урахуванням (2.22), перетворимо залежність (2.19) на вигляд

$$\bar{v}_2(\bar{r}) = \frac{\psi_1 + \psi_2 + 1}{\bar{r}}. \quad (2.24)$$

Задовольняючи умовам безперервності першої та другої похідних швидкості (2.23), з урахуванням (2.22) та (2.24) отримаємо систему рівнянь

$$\begin{cases} 5 \cdot \psi_1 + 4 \cdot \psi_2 + 2 = 0 \\ 10 \cdot \psi_1 + 4 \cdot \psi_2 - 2 = 0 \end{cases} \quad (2.25)$$

Система (2.25) має рішення $\psi_1 = 0,8; \psi_2 = -1,5$.

Отримане рішення дозволяє визначити розподіл швидкостей у повітряно-вихровій зоні

$$\bar{v}_1(\bar{r}) = \bar{r} \cdot (0,8 \cdot \bar{r}^3 + 1,5 \cdot \bar{r}^2 + 1). \quad (2.26)$$

Розподіл швидкостей у повітряно-продуктовому шарі має вигляд

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\bar{v}_2(\bar{r}) = \frac{0,3}{\bar{r}}. \quad (2.27)$$

Або в загальному випадку

$$\bar{v}_2(\bar{r}) = \frac{K}{\bar{r}}. \quad (2.28)$$

де K – константа, чисельно рівна наведеній швидкості повітряно-продуктового шару $\bar{v}_2(\bar{r})$ на його внутрішній межі, тобто при значенні наведеного радіусу $\bar{r} = 1$.

Профіль наведеної швидкості зображено рис. 2.3. Отриманий розподіл швидкостей у повітряно-продуктовому шарі не суперечить результатами експериментального визначення швидкостей частинок, які становлять від 0,2 до 0,5 швидкості кінця лопаті робочого органу.

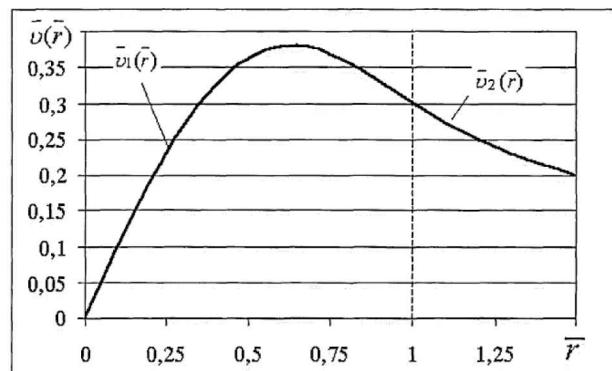


Рисунок 2.3 – Профіль наведеної окружної швидкості потоку в робочому просторі подрібнювача-змішувача.

Абсолютні значення швидкостей потоку визначають кутова швидкість обертання ротора ω_0 та радіус кордону повітряно-продуктового шару r_a .

Невідоме значення радіусу r_a може бути знайдено з рівняння рівноваги повітряного шару в повітряно-вихровій зоні

$$M_1 - M_a = 0, \quad (2.29)$$

де M_1 – момент опору середовища руху ротора в повітряно-вихровій зоні;

M_a – момент сил гідравлічного опору на кордоні повітряно-вихрової зони та повітряно-продуктового шару.

Рівняння (2.29) є рівнянням внутрішньої характеристики підсистеми повітряно-вихрового шару.

Обертальний момент на лопатях робочих органів ротора може бути визначений за зусилля опору руху лопатей, що виникає в результаті відмінності швидкостей робочих органів ротора та навколишнього середовища (рис. 2.4).

Виразимо швидкість обтікання u_1 щ як різницю швидкості лопаті та окружної швидкості потоку на радіусі r

$$u_1(r) = \omega_0 \cdot r - v_1(r). \quad (2.30)$$

Тоді момент, що крутить, на лопатях робочих органів від сил опору P_1 руху лопаті в повітряно-вихровій зоні на елементарній ділянці протяжністю dr для радіально розташованої лопаті висотою h_l :

$$dM_1 = P_1 \cdot r \cdot d \cdot r = \zeta_{1l} \cdot \frac{\rho_1 \cdot u_1^2(r)}{2} \cdot h_l \cdot r \cdot d \cdot r, \quad (2.31)$$

де ζ_{1l} – коефіцієнт гідравлічного опору руху лопаті в повітряно-вихровому шарі;

ρ_1 – щільність повітря, кг/м³.

Кількість робочих органів та їх розташування на роторі може бути різним. Якщо знехтувати взаємним впливом лопастей, момент, що крутить, на лопастях робочих органів ротора в повітряно-вихровій зоні можна визначити, вважаючи, що лопата робочого органу починається з радіусу $\bar{r}_{вн}$

$$M_1 = z_n \cdot z_l \cdot \zeta_{1l} \cdot h_l \cdot \frac{\rho_1 \cdot \omega_0^2 \cdot r_a^4}{2} \cdot \int_{\bar{r}_{вн}}^{\bar{r}} [\bar{r} - \bar{v}(r)]^2 \cdot \bar{r} \cdot d\bar{r}, \quad (2.32)$$

де z_n – кількість робочих органів на роторі;

z_l – кількість лопатей на робочому органі ротора.

При розвиненому турбулентному режимі вважатимуться ζ_{1l} постійною величиною. Вважатимемо для простоти, що лопата робочого органу має постійну висоту, тобто $h_l = \text{const}$.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$dM_2 = P_2 \cdot r \cdot d \cdot r = \zeta_{2л} \cdot \frac{\rho_c \cdot u_2^2(r)}{2} \cdot h_n \cdot r \cdot d \cdot r, \quad (2.35)$$

де $\zeta_{2л}$ – коефіцієнт гідравлічного опору руху лопаті в повітряно-продуктовому шарі;

ρ_c – середня щільність повітряно-продуктового шару:

$$\rho_c = \rho_1 + \frac{m_c}{V_c}, \quad (2.36)$$

m_c – маса продукту в повітряно-продуктовому шарі, кг;

V_c – обсяг повітряно-продуктового шару, м.

Перейшовши до безрозмірних змінних (2.1), (2.2), візьмемо інтеграл у межах від кордону повітряно-продуктового шару з безрозмірною координатою $\bar{r} = 1$ до кінця лопастей з безрозмірною координатою $\bar{r} = \bar{r}_л$

$$M_2 = z_n \cdot \zeta_{2p} \cdot \frac{\rho_c \cdot \omega_0^2 \cdot r_a^5}{2} \cdot \int_1^{\bar{r}_л} \left(\bar{r} - \frac{K}{\bar{r}} \right)^2 \cdot \bar{r} \cdot d \cdot \bar{r}, \quad (2.37)$$

де

$$\zeta_{2p} = \zeta_{2л} \cdot z_n \cdot \frac{h_n}{r_a} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\varphi_{\alpha_n}}{n}. \quad (2.38)$$

Після інтегрування та перетворень отримаємо остаточно

$$M_2 = z_n \cdot \zeta_{2p} \cdot \frac{\rho_c \cdot \omega_0^2 \cdot r_a^5}{2} \cdot \left[\bar{r}_{вн}^{-4} + 4 \cdot K \cdot \left(K \cdot \ln \bar{r}_{вн} + \bar{r}_{вн} + 1 \right) - 1 \right]. \quad (2.39)$$

Повний момент сил опору на роторі подрібнювача-змішувача складається з моментів, що діють на молотки у повітряно-вихровій зоні та повітряно-продуктовому шарі:

$$M_p = M_1 + M_2. \quad (2.40)$$

Для визначення потужності, що витрачається безпосередньо на процеси подрібнення та змішування, визначимо моменти, створювані напругою зсуву на межах повітряно-продуктового шару (рис.2.3).

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент сил гідравлічного опору на межі повітряно-вихрової зони та повітряно-продуктового шару, тобто при $\bar{r} = 1$, можна визначити виразом:

$$M_a = 2 \cdot \pi \cdot H \cdot r_a^2 \cdot \tau_a, \quad (2.41)$$

де H – осьова довжина робочої зони подрібнювача-змішувача, м;

τ_a – напруга зсуву на межі повітряно-вихрової зони і повітряно-продуктового шару, Н/м².

Напруга зсуву у обертальному русі визначається виразом:

$$\tau = \mu \cdot \left(-r \cdot \frac{d \cdot \omega}{d \cdot r} \right), \quad (2.42)$$

де μ – абсолютна в'язкість повітря, Па·с.

Підставивши (2.42) вираз (2.3), отримаємо при $\bar{r} = 1$:

$$\tau_a = -\mu \cdot \omega_0 \cdot (3 \cdot \psi_1 + 2 \cdot \psi_2). \quad (2.43)$$

Остаточний момент на межі повітряно-вихрової зони та повітряно-продуктового шару

$$M_a = -2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot \omega_0 \cdot H \cdot r_a^2 \cdot (3 \cdot \psi_1 + 2 \cdot \psi_2). \quad (2.44)$$

Підставивши значення моментів (2.34) та (2.29) у (2.14) знайдемо невідоме значення радіусу r_a

$$r_a = A \cdot \sqrt[3]{\frac{\pi \cdot \mu \cdot H}{z_n \cdot z_l \cdot \zeta_{1l} \cdot \rho_1 \cdot h_l \cdot \omega_0}}. \quad (2.45)$$

Урахуванням отриманих значень ψ_1 і ψ_2 стандартному значенні щільності повітря рівняння (2.45) набуває вигляду

$$r_a = 3,04 \cdot \sqrt[3]{\frac{\pi \mu H}{z_n \cdot z_l \cdot \zeta_{1l} \cdot \rho_1 \cdot h_l \cdot \omega_0}}. \quad (2.46)$$

Момент сил опору бічної стінки визначено виразом

$$M_{cm} = 2 \cdot \pi \cdot H \cdot r_c^2 \cdot \tau_{2cm}, \quad (2.47)$$

де r_c – радіус робочої камери подрібнювача-змішувача, м (рис. 2.1).

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напруга зсуву на бічній поверхні корпусу подрібнювача-змішувача визначена залежністю

$$\tau_{2cm} = c_{2cm} \cdot \rho_c \cdot \frac{v_c^2}{2}, \quad (2.48)$$

де c_{2cm} – коефіцієнт гідравлічного опору корпусу подрібнювача-змішувача обертання повітряно-продуктового шару.

З умови (2.28)

$$v_c = K \cdot \omega_0 \cdot \frac{r_a^2}{r_c}. \quad (2.49)$$

Остаточний момент сил опору бічної стінки

$$M_{cm} = \pi \cdot H \cdot c_{2cm} \cdot \rho_c \cdot K^2 \cdot \omega_0^2 \cdot r_a^4. \quad (2.50)$$

При подрібненні та змішуванні будь-якої суміші компонентів енергія витрачається не тільки на корисну роботу, але й втрачається на непродуктивну роботу. Чим досконаліша конструкція та робочий процес подрібнювача-змішувача, тим більша частка витрат на корисну роботу машини. Енергетичний аналіз роботи подрібнювача-змішувача дозволяє виявити причини непродуктивних втрат, знизити їх величину та обґрунтувати раціональні конструктивні рішення та параметри.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Призначення експериментальних досліджень

У ході експериментальних досліджень необхідно вирішити такі завдання:

1) визначити невідомі величини, що входять до запропонованої математичної моделі;

2) експериментальна перевірка теоретичних положень.

Для проведення експериментальних досліджень було розроблено спеціальну програму, що складається з наступних етапів:

1) розробка та виготовлення експериментальної установки та приладів для проведення досліджень процесу подрібнення та змішування компонентів комбікормів;

2) розробка загальної та приватних методик дослідження;

3) підготовка обладнання та вимірювальної апаратури для експериментальних досліджень;

4) проведення експериментальних досліджень та аналізу отриманих результатів.

3.2 Визначення гранулометричного складу вихідного та подрібненого продукту

Гранулометричний склад вихідного та подрібненого зерна визначали за ГОСТ 13496.8-72 «Комбікорми. Методи визначення крупності розмелювання та вмісту нерозмеленого насіння культурних і дикорослих рослин згідно з методикою, розробленою в МТШП під керівництвом професора А.Р. Демидова.

За стандартною методикою відбирали середній зразок від аналізованого продукту, виділяли методом розподілу три навішування по 100 г кожна. Розсортували навішування протягом 5 хв. на розсві-аналізаторі РЛ-47 з набором штампованих сит із круглими отворами діаметром 4,0; 3,0; 2,0 та 1,0 мм, а також

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

капронових сит № 15 та № 27. Залишок на кожному ситі зважували на електронних вагах Пет-Вага ЕТ-300, перераховували у відсотках до загальної маси навішування.

Таблиця 3.1 – Вимоги до гранулометричного складу подрібненого складу зернових культур

Група крупності	Залишок (%) на ситі з діаметром отворів мм			Зміст цілих зерен, %
	2	3	5	
1	не допуск.	---	---	не допуск.
2	не більше 5	не допуск.	---	не допуск.
3	---	не більше 5	не допуск.	не більше 0,3
4	---	не більше 35	не більше 5	не більше 0,7

З вихідного зразка відбирали три навішування (методом поділу) по 0,1 кг кожна і розсортували за допомогою розсіву-аналізатора РЛ-47 протягом 10 хв. (8 хв. сортування, зупинка, постукування по ситах, 2 хв. сортування). Кожна колонка набирається із сит із розмірами отворів, що дозволяють оцінити продукт у всьому діапазоні крупності його частинок. Для аналізу застосовували відповідні сита наступного набору: штамповані з круглими отворами розмірами: 5,0; 4,5; 4,0; 3,5; 3,0; 2,5; 2,0; 1,5; 1,2; 1,0; шовкові обтяжені: 71; 120; 160; 200; шовкові полегшені: 27; 38.

Продукт, що залишився на ситах (сход) зважували, і результати розсіву перевіряли для кожної колонки, підсумовуючи всі залишки. Якщо розбіжність з первісною масою навішування 100 гр. перевищувала 2 %, то наново розсортували продукт. При розбіжності не більше 2 % проводили коригування фракцій пропорційно їх масі. За даними результату розсіву трьох колонок сит знаходили середньоарифметичне значення кількості залишків продукту для сит з однаковим розміром отворів. Розмір частинок отриманих фракції сипучого продукту визначали за формулою

$$d_i = \frac{D_{i-1} + D_i}{2}, \quad (3.1)$$

де D_i – розмір отворів сита, через яке пройшли частинки продукту (прохід), мм;

D_{i-1} – розмір отворів сита, з якого отримано залишок (схід) цієї фракції продукту, мм.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За отриманими даними, будували кумулятивну криву гранулометричного складу досліджуваного зразка (рис. 3.1). За наростаючими підсумками відкладали кількість товару на ситах у відсотках. Через точку на осі ординат, що відповідає 50 %, проводили горизонтальну пряму до перетину з кривою кумулятивної гранулометричного складу продукту. З точки перетину A опускали перпендикуляр на вісь абсцис і знаходили середньозважений розмір частинок всього зразка d_{cp} в міліметрах (рис. 3.1). Загальний коефіцієнт тонкості подрібнення частинок K_1 (рис. 3.1а) визначали з відношення площі, укладеної кумулятивною кривою і віссю абсцис – S_1 , до площі, укладеної між осями координат в межах кривої – S_2 . Коефіцієнт тонкості подрібнення дрібної фракції K_2 (розмір частинок менший за d_{cp}), знаходили як відношення площі, укладеної кумулятивною кривою від 0 до точки A і віссю абсцис – S_3 (рис. 3.1б), до площі укладеної осями координат в межах кривої від 0 до точки A – S_4 . Коефіцієнт тонкості великої фракції K_3 – відношення площі, укладеної кумулятивною кривою від точки A до кінця кривої та горизонтальної прямої, проведеної через точку A – S_5 , до площі, укладеної прямими, паралельними осям координат, проведеними через точку A в межах кривої від даної точки до її кінця S_6 .

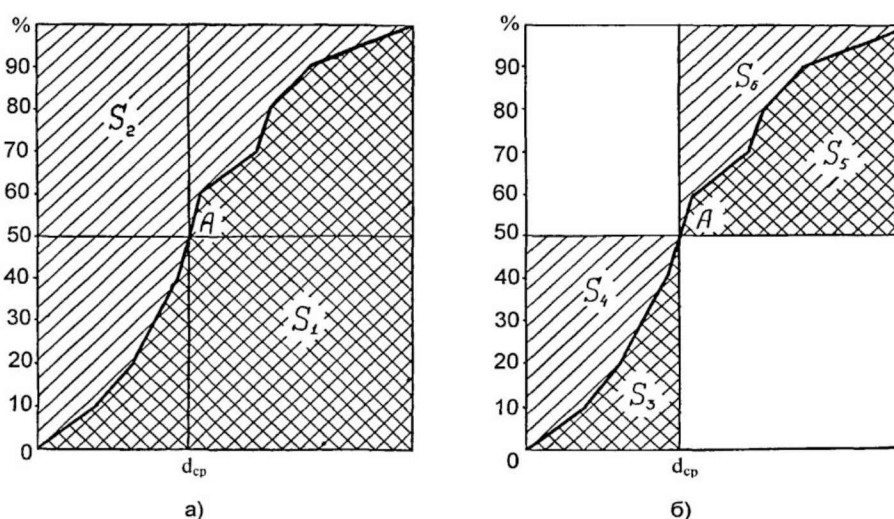


Рисунок 3.1 – Кумулятивна крива гранулометричного складу продукту

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт вирівнення частинок α визначається з відношення коефіцієнтів тонкості великої K_3 і дрібної K_2 фракцій.

Ступінь подрібнення λ – це відношення середньозваженого розміру частинок вихідного продукту до середньозваженого розміру частинок подрібненого продукту $d_{с.вх}$.

У використанні даної методики основна складність полягає у побудові кумулятивної кривої та визначенні площ для розрахунку коефіцієнтів.

Для визначення гранулометричного складу сипучих продуктів використовували програму «Сіто», розроблену Кузнецовим О.А. У роздруківці отримували: дані для контролю, середньозважений розмір частинок, загальний коефіцієнт тонкості продукту, коефіцієнт тонкості дрібної і великої фракції, коефіцієнт вирівняності, похибка зважування.

3.3 Методика визначення ступеня однорідності суміші

Узагальнюючи систему поглядів на методи оцінки ступеня однорідності суміші, можна констатувати, що основою їх є статистичний аналіз, при якому суміш умовно вважають двокомпонентною, один з компонентів якої є ключовим, проте інші об'єднуються в інший. За ступенем розподілу контрольного компонента судять про якість суміші. Таким чином, двокомпонентної суміші випадковою величиною X є вміст контрольного компонента σ в її мікрооб'ємах.

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

Більшість дослідників як основний критерій оцінки якості суміші приймають середнє квадратичне відхилення змісту контрольного компонента в пробах, взятих із суміші.

Величину σ оцінимо через вибіркочну дисперсію (середньоквадратичне відхилення) концентрації контрольного компонента суміші в пробах:

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (c_{ji} - \bar{c})^2}{n_{l-1}}}, \quad (3.2)$$

де c_{ji} – експериментальне значення концентрації компонента в j -й пробі, взятій i -й точці відбору, г;

\bar{c} – середнє значення концентрації, г;

n – кількість вибраних точок відбору обсягом подрібнювача-змішувача.

Середнє значення концентрації контрольного компонента суміші обчислюємо за формулою

$$\bar{c} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l \frac{c_{ji}}{n \cdot l}. \quad (3.3)$$

При великій кількості проб величина \bar{c} зі сходиться по ймовірності з математичним очікуванням m випадкової величини c_{ji} (зміст контрольного компонента у пробі). Середньоквадратичне відхилення σ залежить від величини \bar{c} і має її розмірність. Це не дозволяє використовувати величину σ у чистому вигляді для порівняльної оцінки якостей сумішей з різним вмістом у них контрольного компонента. Тому переходять до відносної форми величини σ , відносячи її до деякої величини σ_0 , в яку багато дослідників вкладають різний зміст. У таблиці наведено основні формули, що використовуються для розрахунку критерію якості суміші σ_0 .

У нашій країні найбільшого поширення оцінки критерію якості змішування отримав коефіцієнт неоднорідності (варіації) v , обчислюваний по формулі

$$v = \frac{\sigma \cdot 100}{\bar{c}} = \frac{100}{\bar{c}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (c_{ji} - \bar{c})^2}{n_{l-1}}}, \% \quad (3.4)$$

Ми у своїй роботі приймаємо за критерій оцінки якості суміші коефіцієнт неоднорідності v .

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для дослідження процесу змішування в установках періодичної дії, з метою оцінки якості, найчастіше використовують один із способів відбору проб: квартування або точкового відбору ГОСТ 13496-70.

Квартування полягає в тому, що суміш повністю вивантажується з камери, розрівнюється на гладкому піддоні та ділиться на бажану кількість квадратів, з яких згодом відбираються проби необхідної вагової маси. При точковому способі відбору проб у спеціально встановлених точках подрібнювача-змішувача проводиться виїмка проб за допомогою спеціального багаторівневого пробовідбірника, завдяки чому з'являється можливість відібрати проби з будь-якої точки машини, не вивантажуючи при цьому всю суміш. Обидва способи є універсальними і можуть бути використані в нашому випадку за певної модифікації. Конструктивні особливості подрібнювача-змішувача, в якому досліджується процес, дозволяють використовувати методику точкового відбору проб без вивантаження матеріалу з нього. Для цього весь обсяг подрібнювача-змішувача був розділений по радіусу на три зони, де в кожній зоні через рівні дуги діаметра кола обічайки, виїмка проб вироблялася. У кожній із пунктів буде певне середнє значення концентрації ключового компонента. З суміші відбирають обмежену кількість проб, аналізом яких визначається значення концентрації ключового компонента, середнє квадратичне відхилення і коефіцієнт неоднорідності яких може бути визначені за формулами 3.2-3.4.

Мінімально допустиму вагу проби визначали за такою формулою:

$$G_M = \frac{10^4 \cdot \pi \cdot d^3 \cdot \rho}{6 \cdot (c_0 + 0,45)} \quad (3.5)$$

Встановлена мінімальна маса проби становила 30 грам, число проб у кожній зоні $n_{пр}$.

Після фіксованого часу установка вимикалася та відбиралися проби спеціальним пробовідбірником. Зважування проводилося на електронних терезах Пет-Вага ET-300.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ступінь однорідності визначається виходячи з трьох ідентифікованих у часі дослідів.

3.4 Опис експериментального лабораторного подрібнювача-змішувача для дослідження процесу подрібнення та змішування компонентів комбікормів

Виходячи з вищенаведених доводів, для дослідження процесу подрібнення та змішування комбікормових сумішей та вирішення поставлених завдань була спроектована та виготовлена експериментальна лабораторна установка, представлена на рис. 3.2.

При виготовленні експериментальної установки керувалися такими основними вимогами:

- можливість зміни технологічних параметрів процесу подрібнення-змішування у широкому діапазоні;
- можливість створення різних режимів змішування з одночасним подрібненням вихідних компонентів комбікормів;
- простота конструкції та надійність в експлуатації конструкції лабораторної установки;
- зручність контролю та регулювання вихідних параметрів процесу;
- максимальне наближення до умов подрібнення та змішування компонентів комбікормів у промислових апаратах.

Вирішення поставлених у роботі завдань здійснювалося в лабораторних умовах. У лабораторіях вивчався вплив на процеси подрібнення та змішування режимних, конструктивних та технологічних параметрів на ступінь змішування (коефіцієнта неоднорідності) та якість подрібнюваного продукту, продуктивність та енергоємність процесу.

Експериментальний лабораторний подрібнювач-змішувач був виготовлений у механічному цеху ВАТ «Оренбурзький станкозавод» Оренбурга, з конструкторської документації, розробленої в ГОУ ВПО «Оренбурзький державний університет» на базі лабораторної дробарки.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експериментальна лабораторна установка призначена для моделювання та вивчення процесів подрібнення та змішування, що протікають у її робочій камері.

Лабораторна установка працює у режимі періодичної дії. Вона дозволяє в процесі експериментів застосовувати різні конструктивні схеми установки двох поярусно розташованих робочих органів з різним числом лопатей, кількістю настановних бункерів (від 2 до 4), варіювати кутову швидкість обертання ротора. Крім моменту, що крутить, створюваного повітрям і продуктом завантаженим в робочу камеру, визначалися тиск повітряно-продуктового шару на внутрішню поверхню робочої камери, середньозважений розмір одержуваних частинок, ступінь подрібнення і однорідність одержуваного продукту. Процеси, що протікають в лабораторній установці, доступні вимірюванням, візуальному спостереженню, фото-відео-кінозйомкам.

Лабораторна установка (рис. 3.2) включає експериментальний зразок подрібнювально-змішувальної машини з вертикальним розташуванням ротора, що складається з наступних основних вузлів: станини 1; робочої камери з ротором 2; настановних бункерів 3; приводу ротора 4; пульта управління 5 і ватметра 6, що дозволяє змінювати частоту обертання валу ротора, а також заміряти силу струму і потужність в ланцюгах обмоток приводного електродвигуна.

На станині 1 кріпиться вал 2, на якому встановлюються підшипники. До корпусу підшипникового вузла 3 кріпиться планшайба 4, встановлена з можливістю вільного обертання щодо осі вала ротора 5 з розташованими на ньому двома поярусно встановленими змінними робочими органами 6. На планшайбі 4 встановлена обичайка 7, що містить вивантажний патрубок 8 з наявною висувний з прозорою кришкою 10 та стрижнями 11 утворюють корпус робочої камери 12 лабораторного подрібнювача-змішувача. На стійках 13 над прозорою кришкою 10 поза корпусом робочої камери установки 12, з можливістю регулювання по висоті, встановлена прозора установча плита 14. У прозорій установочній плиті 14, виконані отвори, в які можуть бути встановлені від двох до чотирьох настановних бункерів 15 з висувними заслінками 16 для подачі компонентів а також встановлений дозатор 17 для контрольного компонента. У прозорій кришці 10

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконані завантажувальні отвори 18 відповідно по осях симетрії вихідних патрубків бункерів 15, встановлених в прозорій установочній плиті. станині 1 з нижньої сторони кріпиться склянка 20, в якому встановлений вал ротора 5, на нижньому кінці якого встановлений приводний шків 21. Можливість обертання планшайби 7 обмежена пристроями вимірювання крутного моменту, який може бути встановлений за допомогою тензометричних балок-стійок, пов'язаних з планшайбою 7 гнучкими нерозтяжними нитками.

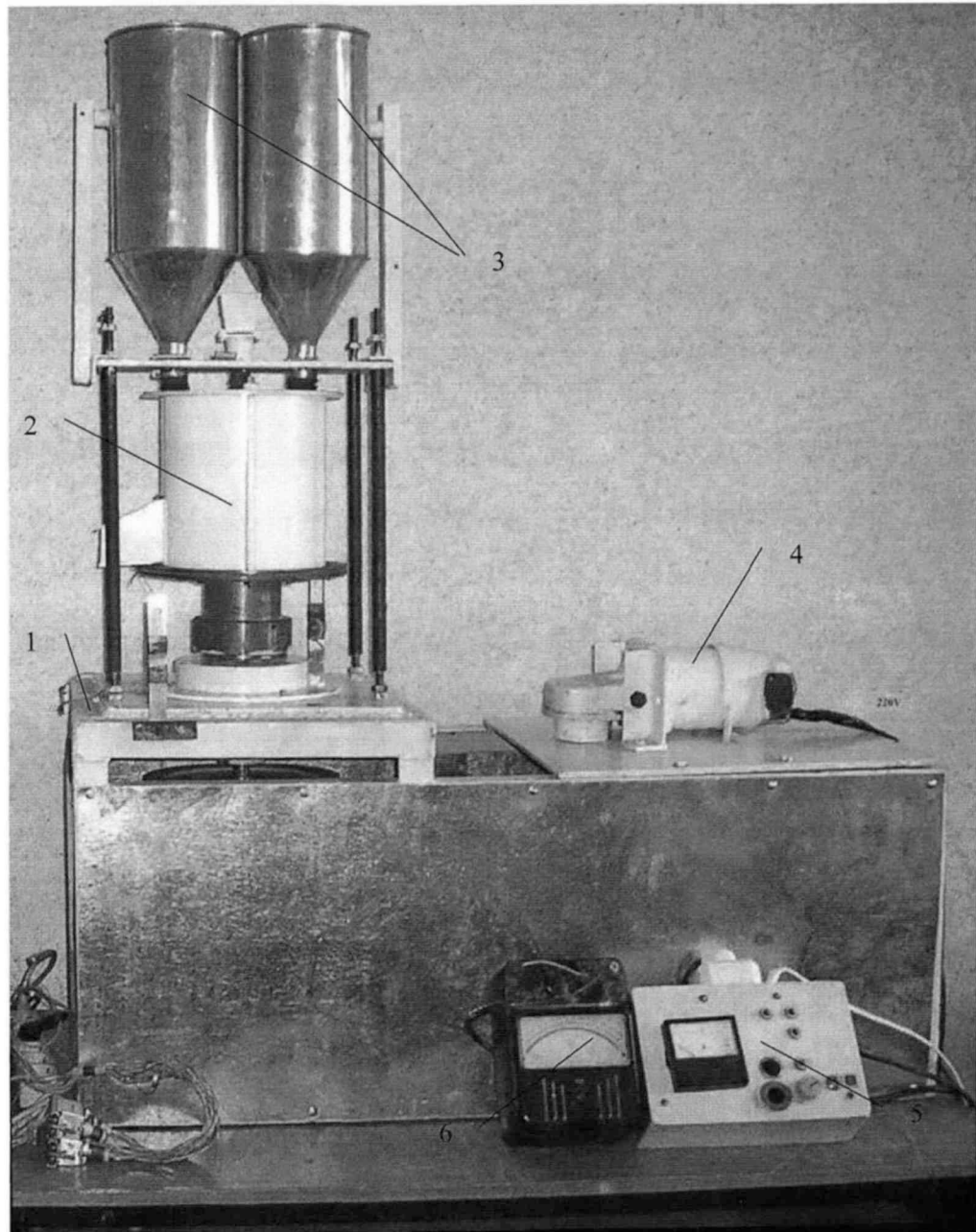


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд робочої установки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ

Аркуш

50

Станина є звареною конструкцією. Привід ротора здійснюється від електродвигуна за допомогою клинопасової передачі. Електродвигун (потужність 1,8 кВт, $n = 6500$ об/хв) кріпиться до платформи, за допомогою якої направляючими в швелерах рами здійснюють натяг ремня передачі.

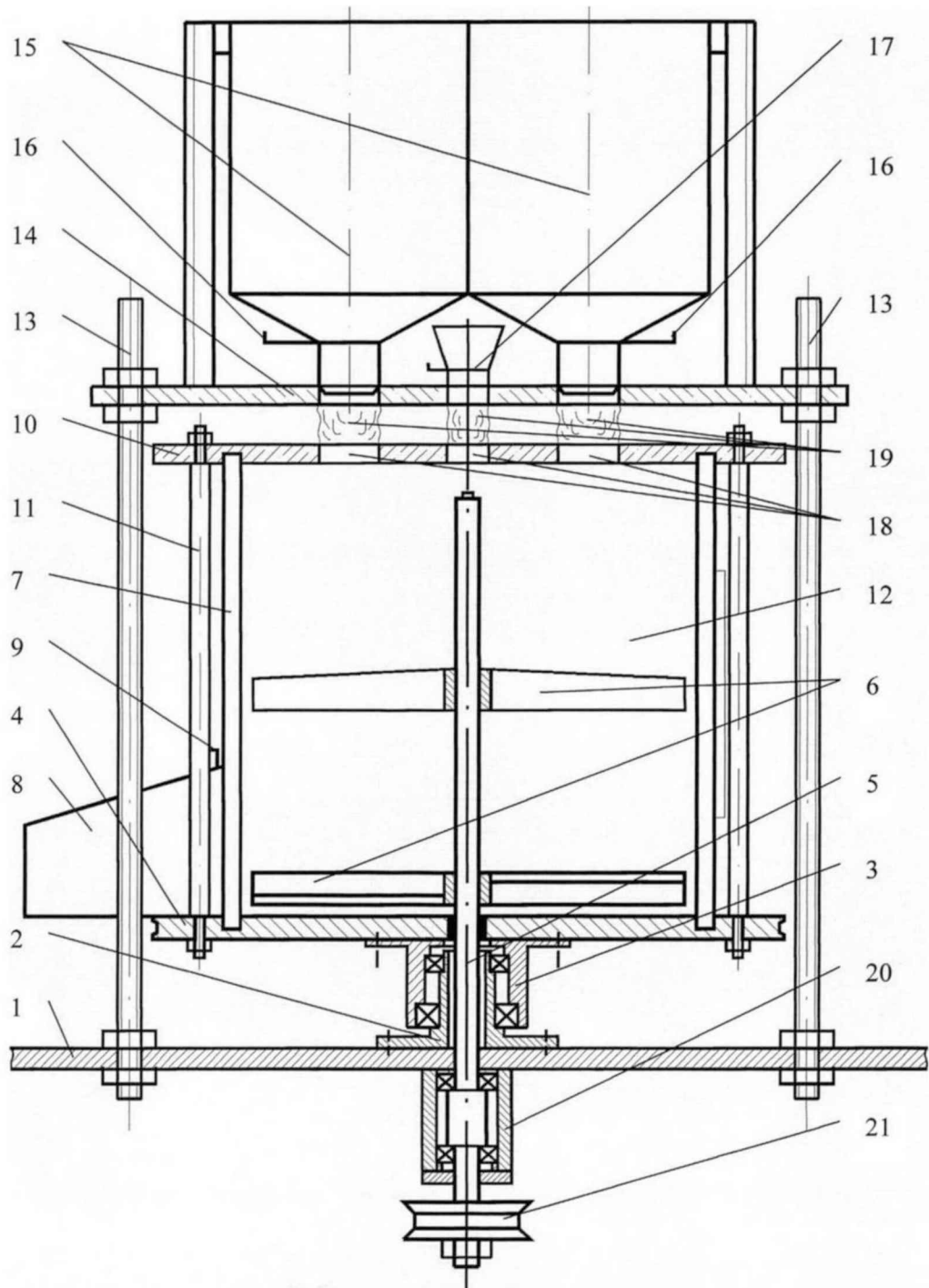


Рисунок 3.3 – Експериментальний лабораторний подрібнювач-змішувач

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Власне експериментальний лабораторний подрібнювач-змішувач є наступною конструкцією (рис. 3.3). Вид зверху зі знятою кришкою показаний рис. 3.4

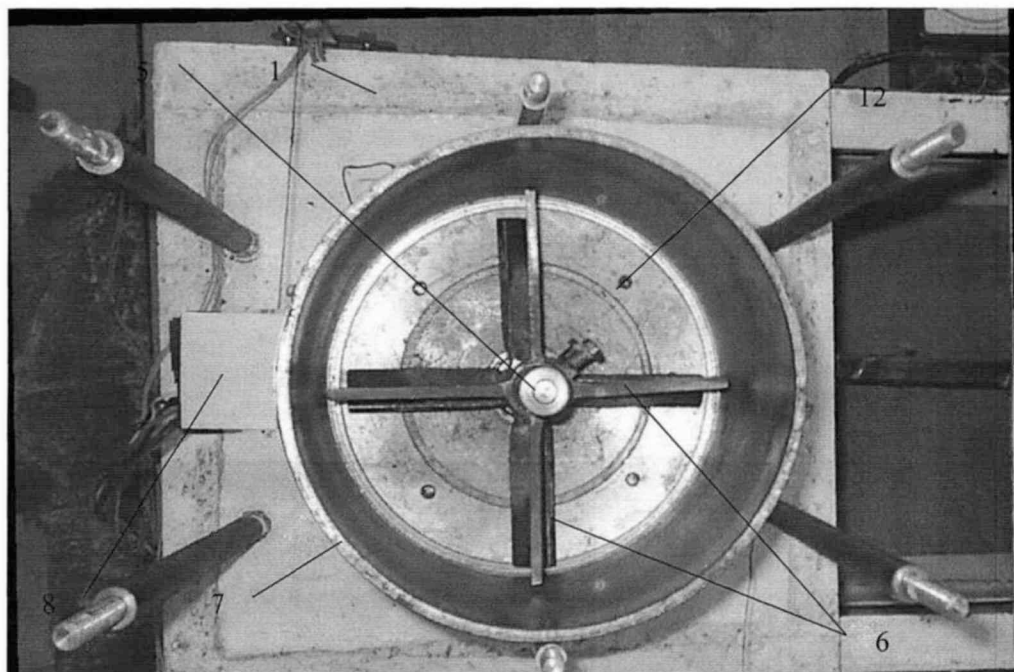


Рисунок 3.4 – Схема експериментального лабораторного подрібнювача змішувача зі знятою кришкою.

Для проведення процесу тензометрування та вимірів крутного моменту, створюваного тертям подрібнюваного матеріалу про обичайку застосовуються тензодатчики (тензорезистори), приклеєні на балочки-стійки 5, виконані з пружинної сталі марки Ст 65 Г, які встановлені в діаметрально протилежних точках по відношенню до корпусу з планшайбою за допомогою нерозтяжних ниток (рисунок 3.5). Два тензорезистори 6 приклеєні з протилежних сторін пластини і включені в бруківку електричну схему: чотири активних і компенсуючих тензорезистора - повний міст - вигин (рис. 3.6-3.7).

У вимірювальній діагоналі мостової схеми, при дії на тензорезистори через тензочутливий елемент, виникає напруга, яка передається в аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 3, підключений до системного блоку ПК-2 за допомогою сполучної шини 4 (рис. 3.5). Відлік та реєстрація величин сигналів, пропорційних наданому впливу на тензорезистори, здійснюється безпосередньо на моніторі 1 за

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою спеціального програмного забезпечення. Перед наклейкою тензорезисторів проводиться їх підбір електричного опору на приладі типу МО-62 (ГОСТ 7156-66). Тензорезистори наклеювалися клеєм БФ-2 з подальшою термообробкою.

Тиск повітряно-продуктового шару на обичайку і коефіцієнт гідравлічного опору від корпусу установки при подрібненні та змішуванні компонентів комбікормів, визначаються через вимірювання динамічної деформації, що виникає на стінці додатково встановлюваної для цього циліндричної обичайки 7 з наклеєними на неї тензорезисторами 9 (рисунок). Тензорезистори 9 приклеєні до зовнішньої поверхні обичайки в окружному і поперечному напрямку, складаючи один з напівмостів, інший напівміст являє собою пару компенсуючих тензорезисторів, приклеєних на компенсуючій балці, що знаходиться поза зоною впливу будь-яких механічних зусиль за схемою, показаною на рис. 3.7.

Лабораторна машина, що подрібнює-змішує, працює наступним чином (рис. 3.3). З завантажувальних бункерів 15 в робочу камеру 12 подається вихідна суміш компонентів комбікорму, де вона піддається подрібненню та змішуванню. Подрібнювані і змішувані компоненти розганяються робочими органами 6, що створюють повітряний потік, і під дією відцентрових сил відкидаються на внутрішню поверхню обичайки 7, на яку передається момент, що крутить, реєстрований тензодатчиками, приклеєним до балок. При цьому в робочій камері 12 відбувається циркуляція матеріалу по замкнутому контуру, яка забезпечує змішування частинок та їх одночасне подрібнення у всьому обсязі апарату. Руйнування частинок суміші відбувається за рахунок багаторазового зіткнення частинок між собою, наголоси на робочі органи 6, ударів і системний блок1, монітор2, АЦП 3, сполучна шина4, ДБЖ 5; колодка 6; циліндрична обичайка7; вимірювальні балочки 8; тензодатчики 9 стирання про обичайку 7, тертя в зазорах між торцем робочих органів 6 і стінкою установки, а також між днищем і нижньою частиною нижнього робочого органу.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

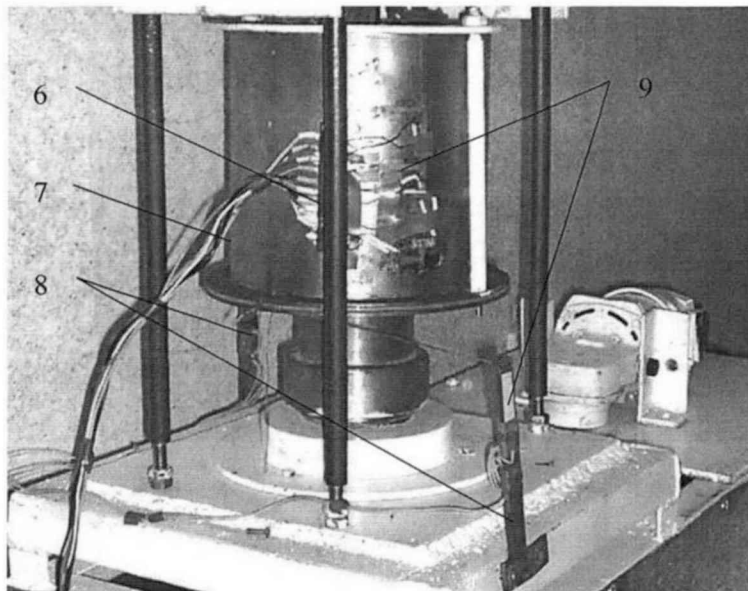
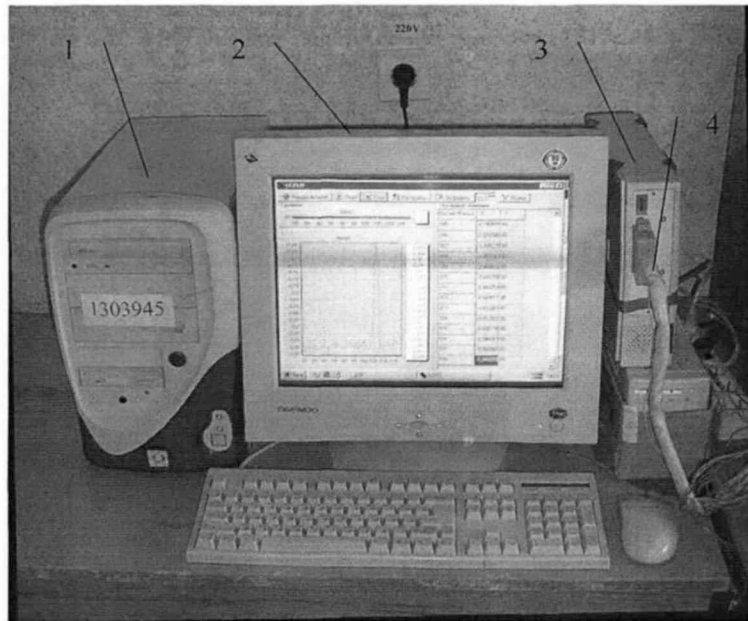


Рисунок 3.5 – Обладнання та прилади, що використовуються при тензометрування

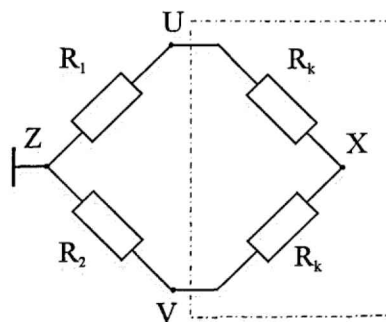


Рисунок 3.6 – Схема з'єднання тензорезисторів за типом: два активні тензорезистори - напівміст - вигин

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

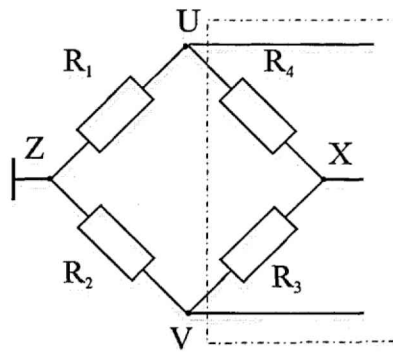


Рисунок 3.7 – Схема з'єднання тензорезисторів за типом: чотири активні та компенсуючі тензорезистори - повний міст - вигин

Наявність двох поярусно розташованих робочих органів 6 по всій висоті робочої камери забезпечує інтенсифікацію процесу змішування за рахунок утворення місцевих циркуляційних потоків навколо кожного робочого органу, що збільшує швидкість протікання процесу і покращує якість змішування. Розмір і швидкість надходження подрібнюваних і змішуваних компонентів в робочу камеру 12 регулюється заслінками 16. Після закінчення циклу роботи установки, продукт може бути вивантажений через вивантажний патрубок 8, при відкритті висувної засувки 9. Конструкція установки дозволяє брати вибірки проб з будь-якої точки об'єму подрібнювача-змішувача за допомогою спеціально виготовленого багаторівневого пробовідбірника, який вводиться в контрольних точках згідно з. Тиск може бути визначений за допомогою додаткової циліндричної обичайки 7 деформації тензочутливих елементів 9 і фіксується вимірювальною системою (рис. 3.5). Наявність прозорої кришки 10 дозволяє проводити фото- та відео спостереження за поведінкою продукту в робочій камері, а також здійснювати безпосередній візуальний контроль над процесом подрібнення та змішування.

Дана конструкція дозволяє досліджувати процес подрібнення та змішування сумішей компонентів комбікорму при різних кількостях та конфігураціях робочих органів та висотах обечайок.

Величину кільцевого продукто-повітряного шару, що утворюється, визначають за допомогою відградуйованої шкали, нанесеної на прозору кришку установки.

Об'єм робочої камери, що утворюється кришкою, обичайкою та планшайбою $0,0251 \text{ м}^3$, діаметр планшайби, на якій кріпиться обичайка $0,25 \text{ м}$. Діаметр кришки становить також $0,25 \text{ м}$. На вал ротора встановлюються робочі органи, конфігурація яких наведена у розділі 4.

Живлення електрообладнання здійснюється від мережі однофазного змінного струму напругою 220 В , частотою 50 Гц . Напруга ланцюгів живлення керування – 220 В . Захист ланцюгів від струмів короткого замикання здійснюється автоматичним вимикачем з електромагнітним розчіплювачем. Від перевантажень електродвигун захищений електротепловим реле.

Ефективність роботи експериментальної лабораторної установки оцінювали за гранулометричним складом вихідної та подрібненої суміші компонентів комбікорму, ступеня їх подрібнення та ступеня змішування.

Управління експериментальною лабораторною установкою здійснюється з пульта управління, розташованого в окремому корпусі, де встановлений комплекс приладів контролю та управління електроприводом установки, що включає тиристорний перетворювач і блок управління, а також вимірювальні прилади для виміру сили струму і потужності в ланцюзі електродвигуна (амперметр типу Е8030, діапазон вимірювання по змінному струму $I = 0-10 \text{ А}$, ватметр Д539 ГОСТ 8476-60) та комутуюча апаратура. Тиристорний перетворювач (схема представлена в додатку 2) спільно з блоком управління колекторним електродвигуном змінного струму дозволяють плавно змінювати частоту обертання валу ротора лабораторної установки. Обертання на вал ротора передавалося за рахунок ремінної передачі і додатково варіювалося поєднанням шківів різних діаметрів. Швидкість обертання робочих органів змінювалась у широкому діапазоні – від 250 до 550 рад/с і визначалася механічним тахометром з похибкою вимірювання $\pm 10 \%$.

Дана конструкція експериментальної установки дозволяє наочно моделювати процес подрібнення та змішування суміші компонентів комбікорму в роторних подрібнювачах-змішувачах з вертикальним розташуванням валу ротора і заміряти значення всіх характеристик процесів, необхідних визначення всіх величин, що входять в математичну модель з подальшою її верифікацією.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Дослідження впливу конструктивних та технологічних параметрів на процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів у робочій камері подрібнювача-змішувача

На першому етапі експериментальних досліджень вивчалось питання про ефективність процесів подрібнення та змішування компонентів комбікормів при різному схематичному розташуванні робочих органів експериментального подрібнювача-змішувача.

Вихідною сировиною була двокомпонентна суміш зерен ячменю та хлориду натрію (NaCl) з еквівалентним розміром частинок ячменю $d_{cp} = 3,57$ мм, вологістю 13,7 %; еквівалентним розміром частинок солі $d_{cp} = 0,76$ мм, вологістю 0,05 %. Склад компонентів подрібнюваної суміші обраний виходячи з їхньої значущості і частки, що займається, в рецептах комбікормів. За основний компонент було прийнято ячмінь, контрольним компонентом був хлорид натрію (NaCl).

Для вимірювання ступеня подрібнення та ступеня перемішування застосовували статистичний метод, при якому із суміші витягувалися вибірки проб продукту, що піддається аналізу, відібрані згідно з ГОСТ 134960-8 «Комбікорми. Правила відбору середнього зразка».

Вивчалися такі показники процесів подрібнення та змішування, що відбуваються в робочій камері лабораторної установки: $W_{y\partial}$ – питома енергоємність, що витрачається на подрібнення та змішування компонентів комбікормів Вт·год/кг; $d_{cp} = 3,57$ - середньозважений розмір частинок готового продукту, мм; ν – коефіцієнт неоднорідності розподілу контрольного компонента суміші, %.

Для встановлення раціональної схеми встановлення робочих органів на валу подрібнювально-змішувальної машини було проведено ряд пошукових експериментів. Були вибрані кілька варіантів схем установки конструкцій знімних

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робочих органів з кількістю лопатей, що дорівнює 2, 4, 6 штук, прямокутною та трапецієподібною формами лопатей з кутом нахилу профілю відповідно 45° та 90° (рис. 4.1-4.2). Основні конструктивні параметри робочих органів представлені у таблицях 4.1-4.2.

Дослідження впливу конструктивних параметрів експериментального лабораторного подрібнювача-змішувача на процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів проводилися в такий спосіб. На валу ротора кріпилися 2 поярусно розташовані знімні робочі органи різної конструкції при різних схемах їх установки в робочій камері трапецієподібною формою лопатей та кутом нахилу профілю 90° подрібнювача-змішувача (табл. 4.3). Зазор між нижньою частиною нижнього робочого органу і днищем фіксувався і дорівнював 3 мм, зазор між торцем робочих органів і стінкою робочої камери дорівнював 5 мм. При встановленні верхнього робочого органу висота від днища становила 100 мм. Потім у робочу камеру подрібнювача-змішувача із завантажувальних бункерів у ваговому співвідношенні 1:50 по черзі висипалися вихідні компоненти – ячменю та хлориду натрію.

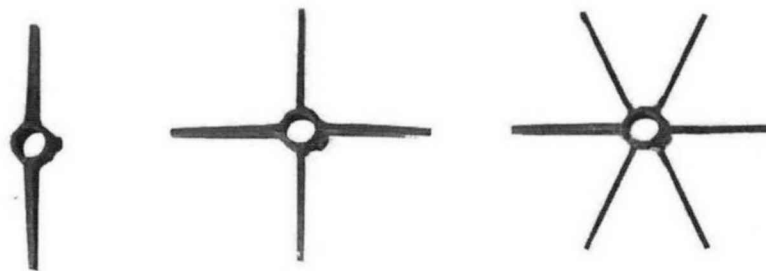


Рисунок 4.1 – Конструкція робочих органів лабораторної дробарки з прямокутною формою лопатей та кутом нахилу профілю 45°

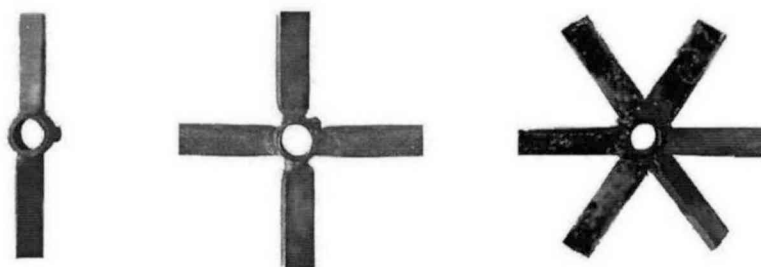


Рисунок 4.2 – Конструкція робочих органів лабораторної дробарки трапецієвидною формою лопатей та кутом нахилу профілю 90°

Маса порції компонентів, що завантажуються, становила 1,5 кг. Кутова швидкість обертання ротора в процесі експерименту не змінювалася і дорівнювала 350 рад/с.

Таблиця 4.1 – Конструктивні параметри робочих органів з прямокутною формою лопатей

Кількість лопатей	Розміри в мм			Кут нахилу, град	Площа робочого органу, мм ²
	Діаметр кінця лопатей	Товщина лопатей	Висота лопатей		
2	190	5	20	45°	2660
4	190	5	20	45°	5320
6	190	5	20	45°	7980

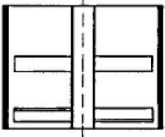
Таблиця 4.2 – Конструктивні параметри робочих органів з трапецієподібною формою лопатей

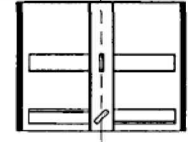
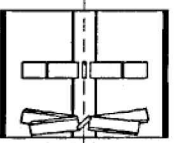
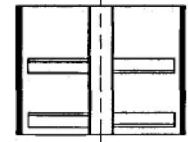
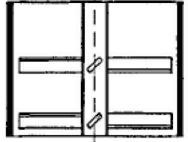
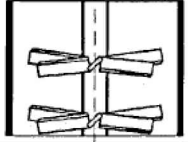
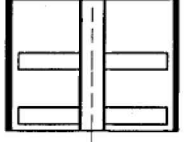
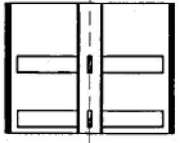
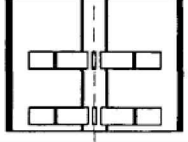
Кількість лопатей	Розміри в мм				Кут нахилу, град	Площа робочого органу, мм ²
	Діаметр кінця лопатей	Товщина лопатей	Висота початку лопатей	Висота кінця лопасті		
2	190	5	20	8	90°	3880
4	190	5	20	8	90°	7600
6	190	5	20	8	90°	11400

Аналіз отриманих результатів показує, що раціональними є схеми №1, №2, №3, т.к. при такому розташуванні робочих органів середньозважений розмір частинок готового продукту d_{cp} і коефіцієнт неоднорідності розподілу контрольного компонента суміші v лежали в допустимих межах. Схеми №4, №5, №6 не задовольняють якісному проведенню процесу подрібнення, а при використанні схем №7, №8, №9 витрата енергії максимальна.

Результати досліджень наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати пошукового експерименту

№ схеми	Схема установки робочого органу	Середній розмір частинки, мм	Коефіцієнт неоднорідності, %	Степінь подрібнення, од.	Потужність, Вт	Енергоємність процесу подрібнення-змішування, Вт·год/кг
1		1,82	16,52	2,13	268,5	2,98

2		1,67	9,93	2,32	337,43	3,75
3		1,37	10,16	2,81	406,37	4,52
4		2,09	8,43	1,85	254,12	2,82
5		2,61	5,47	1,41	344,29	3,83
6		2,75	6,85	1,48	415,8	4,62
7		1,64	10,76	2,36	375,44	4,17
8		1,15	15,03	3,37	475,62	5,28
9		0,82	13,51	4,72	586,74	6,52

4.2 Вплив режимів роботи подрібнювача-змішувача на ефективність процесу подрібнення ячменю

На першому етапі експериментальних досліджень вивчалось питання про ефективність процесу подрібнення та характеру його протікання, а також енергетичних показників у досліджуваному лабораторному подрібнювачі-змішувачі вертикального типу з використанням методик, викладених у розділі 3.

Як вихідний матеріал використовувалося зерно ячменю із середньозваженим розміром частинок $d_{cp} = 3,87$ мм і вологістю $V = 13,7\%$.

Для проведення експериментальних досліджень та отримання достовірних даних використовувалася схема №1. Зазор між нижньою частиною нижнього робочого органу і днищем фіксувався і дорівнював – 3 мм, зазор між торцем робочих органів і стінкою робочої камери дорівнював – 5 мм.

При проведенні досліджень щодо вивчення процесу подрібнення дані параметри залишалися незмінними. При дослідженнях визначали гранулометричний склад вихідного та подрібненого продукту. Відбір проб проводили згідно з ГОСТ 13586.3-84 «Зерно. Правила приймання та способу відбору проб».

Попередні дослідження підтвердили висновки вчених, що порції вихідного продукту, що завантажуються в машину, мають великий вплив на інтенсивність подрібнення. При незначній масі продукту енергія, що підводиться до ротора, буде витрачена «вхолосту», а при надмірній його кількості впливу лопатей на окрему частинку матеріалу буде утруднено. Тому в дослідях щодо визначення основних раціональних параметрів роботи машини, що дають необхідну якість змішування та ступінь подрібнення при найменших витратах часу та енергоресурсів, необхідно знаходячи оптимальні порції продукту, що подрібнюється. Вибрані критерії часу та витрати енергії на подрібнення-змішування порції продукту дозволяють оптимізувати роботу машини. Так, у разі зменшення тривалості циклу приготування продукту, автоматично зростає продуктивність подрібнювача-змішувача, а при збільшенні часу циклу підвищується якість готової продукції, але це пов'язано зі зростанням енерговитрат.

На рис. 4.3 та 4.4 представлені залежності зміни середньозваженого розміру частинок та ступеня подрібнення ячменю від часу циклу роботи установки, за різної величини завантаження подрібнювача-змішувача. Маса порції продукту, що подрібнюється, становила від 1,5, 2 і 3 кг, а час подрібнення змінювалося від 15 до 120 с. Кутова швидкість обертання ротора становила 350 рад/с.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

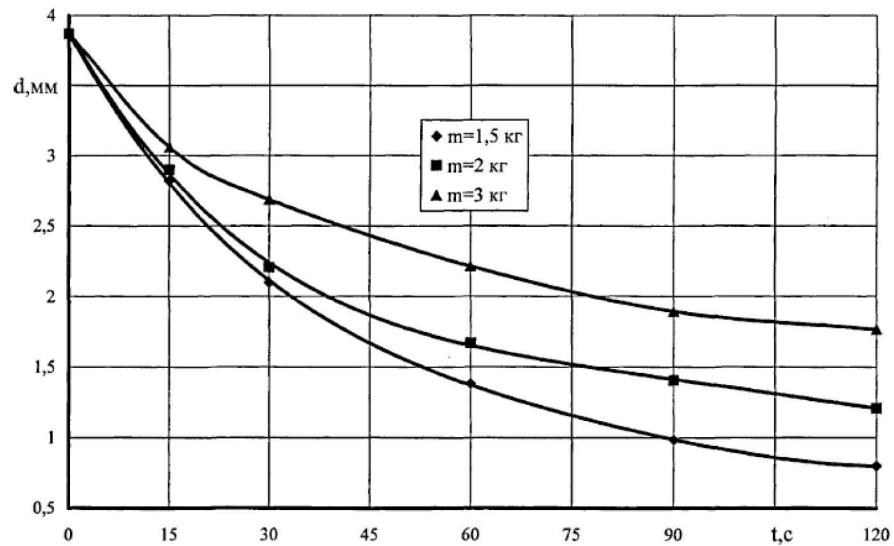


Рисунок 4.3 – Залежність зміни середньозваженого розміру частинок від часу циклу роботи установки за різної величини завантаження подрібнювача-змішувача

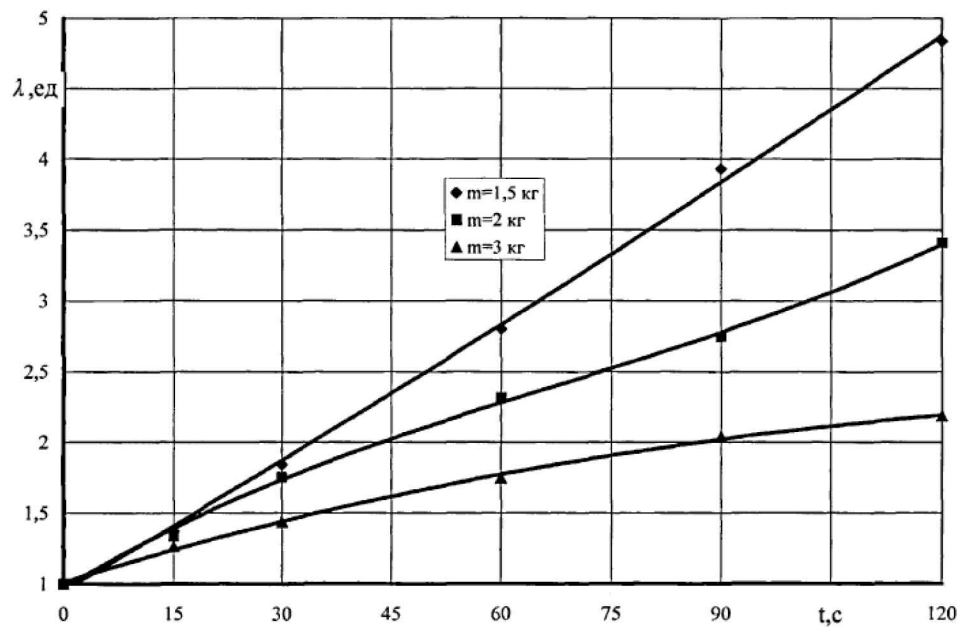


Рисунок 4.4 – Зміна ступеня подрібнення від часу циклу роботи установки за різної величини завантаження подрібнювача-змішувача

Як видно з отриманих даних, представлених на рис. 4.3, характер зміни середньозваженого розміру частинок від тривалості циклу роботи установки носить вигляд спадних кривих другого порядку.

З отриманих даних, очевидно, що чим більша маса порції завантаження при одному і тому ж часі циклу роботи подрібнювально-змішувальної машини, тим

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

більше розмір одержуваного продукту і, чим більше час циклу роботи установки, при одній і тій же величині завантаження, тим менше крупність продукту.

З залежностей, наведених рис. 4.4, випливає, що криві залежностей ступеня подрібнення від часу циклу роботи установки за різної величини завантаження подрібнювача-змішувача мають майже лінійний характер. При збільшенні завантаження кут нахилу кривих зменшується. Це пояснюється зменшенням ступеня впливу робітників органів на окрему частинку із збільшенням маси порції. Найбільш близько до прямо пропорційної залежності має крива, що відповідає масі порції $m_n = 2$ кг, що, ймовірно, відповідає оптимальному завантаженню та найбільш рівномірному характеру протікання процесу.

На рис. 4.5 та 4.6 представлені залежності зміни ступеня подрібнення ячменю від часу циклу роботи установки за різної швидкості обертання ротора подрібнювача-змішувача. Швидкість обертання ротора варіювалася в діапазоні від 250 до 550 рад/с час циклу від 15 до 120 с. Маса порції продукту, що подрібнюється, склала 2 кг.

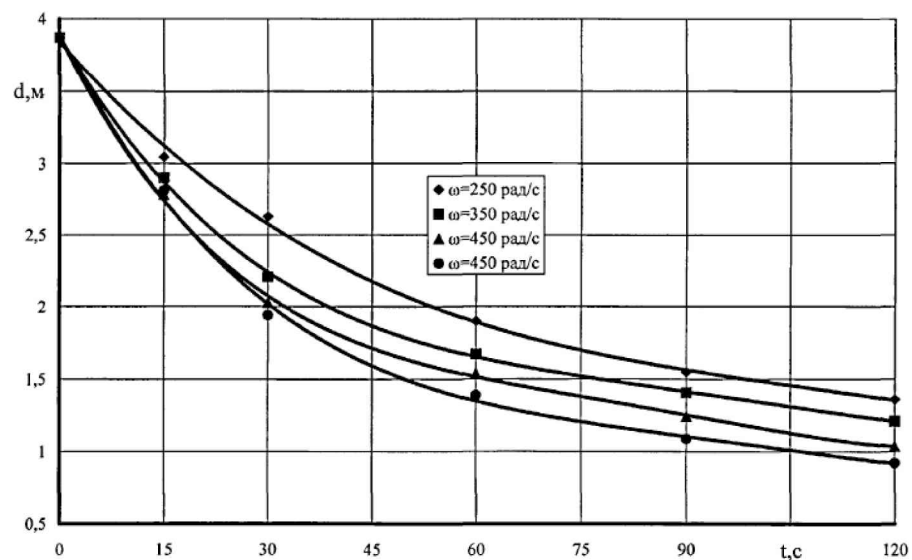


Рисунок 4.5 – Залежність зміни середньозваженого розміру частинок від часу циклу роботи установки за різної кутової швидкості обертання ротора подрібнювача-змішувача

Як видно із залежностей, представлених на рис. 4.5, характер зміни середньозваженого розміру частинок із збільшенням часу циклу аналогічний характеру кривих, представлених на рис. 4.3.

Зменшення крупності продукту зі збільшенням швидкості обертання ротора пояснюється збільшенням швидкості удару частинок стінки робочої камери і робочі органи подрібнювача-змішувача.

Зміна ступеня подрібнення від часу циклу роботи подрібнювача-змішувача, показані на рис. 4.6, достовірно можуть бути апроксимовані лінійними залежностями, при цьому зі збільшенням швидкості обертання кут нахилу прямих збільшується, тобто відбувається збільшення ступеня.

Аналіз отриманих залежностей процесу подрібнення для інших конструкцій робочих органів та схем їх встановлення в подрібнювально-змішувальній машині має ідентичну тенденцію, що і представлені на графіки 4.3-4.6. Вплив конструктивних та технологічних параметрів процесу подрібнення на середньозважений діаметр та ступінь подрібнення найбільш точно може бути апроксимований рівняннями регресії, поверхні відгуку яких представлені у розділі 5.

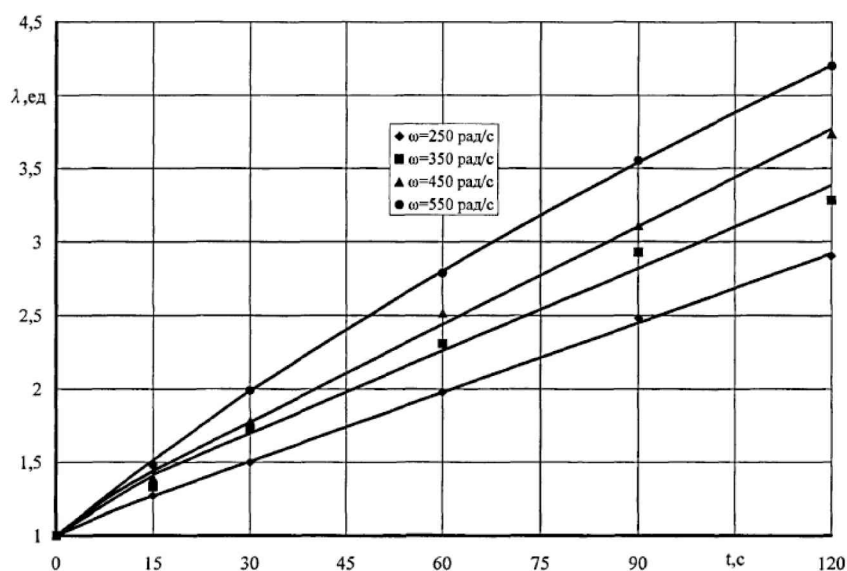


Рисунок 4.6 – Залежність зміни ступеня подрібнення від часу циклу роботи установки за різної кутової швидкості обертання ротора подрібнювача-змішувача

Енергоємність процесу подрібнення є найважливішим показником, що характеризує досконалість конструкції подрібнювача-змішувача, та залежить від обраних режимних та конструктивних параметрів процесу. Від швидкості робочих органів залежать витрати енергії на процеси подрібнення та перемішування продукту в подрібнювачі-змішувачі. У процесі дослідження енергетичних параметрів схема встановлення та конструкція робочих органів залишалися незмінними. Час циклу роботи установки становив $t = 60$ с.

На рис. 4.7 подано залежності витрат електроенергії на привід подрібнювача-змішувача в режимі холостого ходу.

З представлених графіків видно, що зі збільшенням кутової швидкості обертання ротора подрібнювача-змішувача витрати електроенергії на холостий перебіг зростають і знаходяться у прямій залежності.

На рис. 4.8 представлені залежності величини витрати корисної потужності від швидкості обертання робочих органів подрібнювача - змішувача за різної теоретичної продуктивності подрібнювача-змішувача.

Кутова швидкість обертання змінювалася від 250 до 550 рад/с, теоретична продуктивність становила 90, 120 та 180 кг/год. Аналіз отриманих результатів показав, що витрата корисної потужності описується кривими другого порядку. Показник ступеня різних мас компонентів неоднаковий.

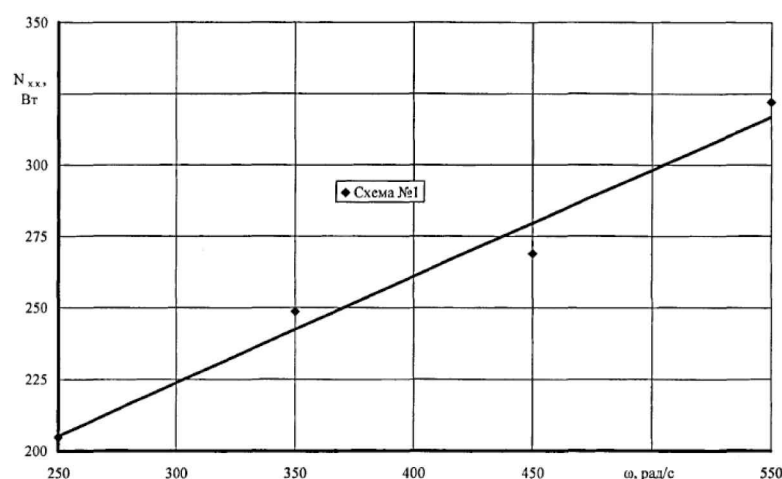


Рисунок 4.7 – Витрати енергії на холостий перебіг роботи подрібнювача-змішувача за різної частоти обертання ротора

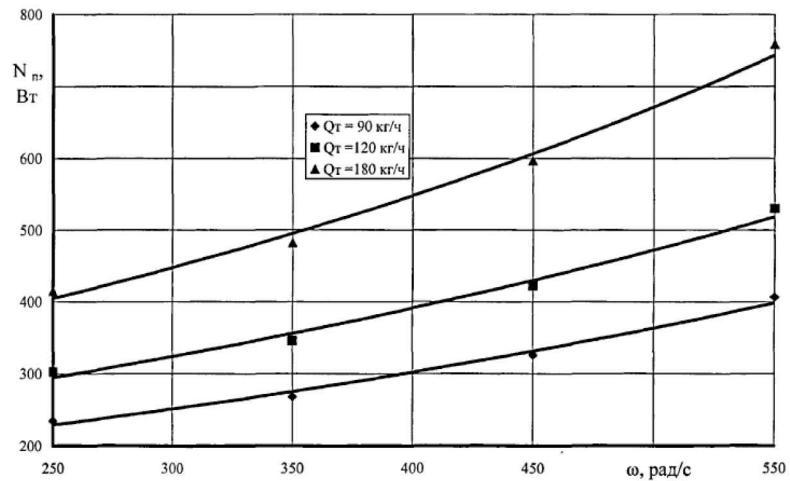


Рисунок 4.8 – Зміна витрати корисної потужності від кутової швидкості обертання ротора за різної теоретичної продуктивності подрібнювача-змішувача

З графіка рис. 4.8 видно, що показник ступеня тим вищий, що більше теоретична продуктивність машини. Це великим значенням витрат енергії зі збільшенням маси порції продукту, завантажуваного в робочу камеру подрібнювача-змішувача. Збільшення витрати енергії на процес зі збільшенням кутової швидкості обертання ротора пов'язано зі зміною кінематичного режиму, а отже, і кількості енергії, що витрачається на процеси, що відбуваються в робочій камері подрібнювача-змішувача.

Характер зміни питомих витрат електроенергії від середньозваженого розміру частинок продукту, що подрібнюється при різній теоретичній продуктивності машини представлений на рис. 4.9.

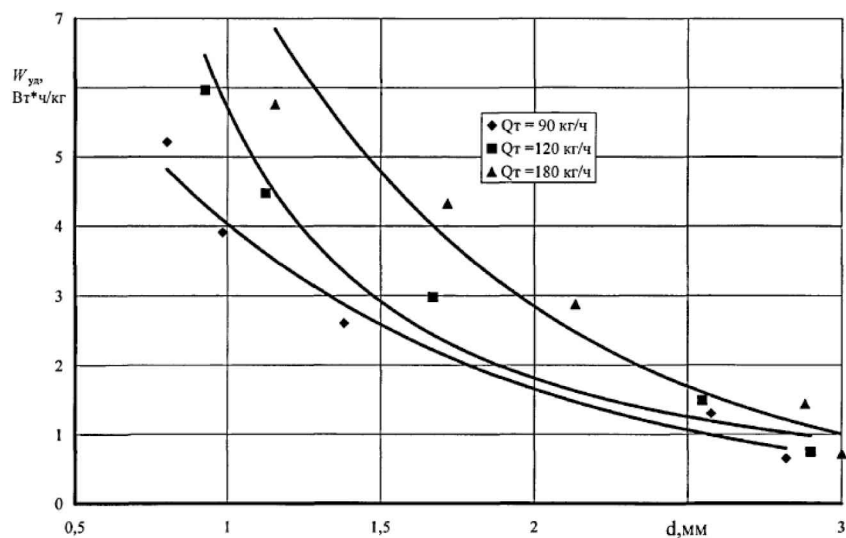


Рисунок 4.9 – Зміна питомих витрат енергії подрібнювача-змішувача залежно від отримуваної крупності продукту за різної теоретичної продуктивності

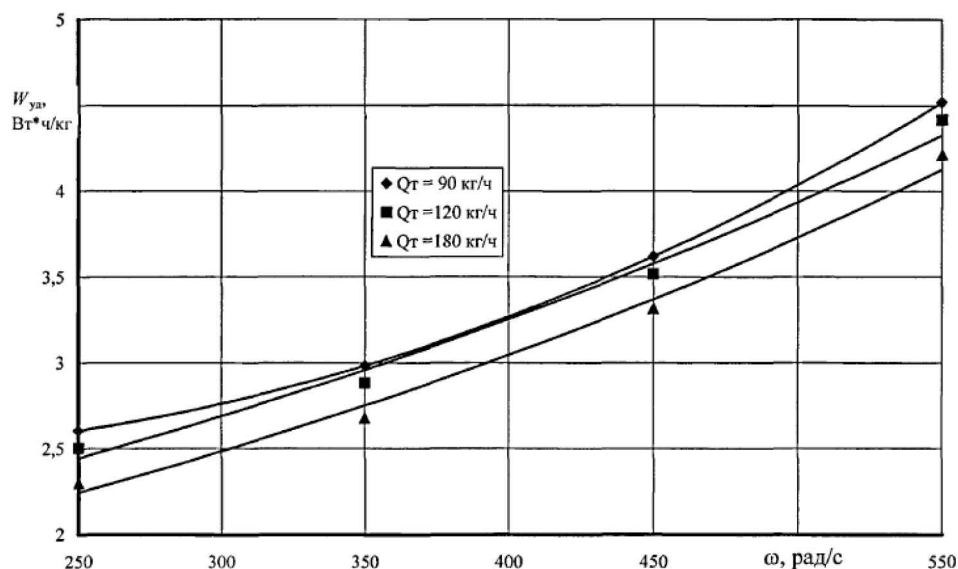


Рисунок 4.10 – Залежність зміни питомої енергоємності від кутової швидкості обертання ротора за різної продуктивності подрібнювача-змішувача

Залежність показує, що, зі зменшенням крупності, витрати енергії збільшуються, це тим, що з отримання дрібнішого продукту необхідно більше енергії. Рінтенсивність зниження енерговитрат зростає при збільшенні продуктивності подрібнювача-змішувача, це пояснюється збільшенням частки корисної потужності, що витрачається на процес.

На рис. 4.10 подано залежності зміни питомої енергоємності процесу від кутової швидкості обертання ротора за різної величини завантаження подрібнювача-змішувача.

З залежностей видно: з кутовим зростанням швидкості обертання ротора енергоємність процесу зростає, що можна пояснити збільшенням кількості енергії, що витрачається на процеси подрібнення та змішування, що відбуваються в робочій камері подрібнювача-змішувача.

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Охорона праці

Законодавство України про охорону праці базується на конституційному праві всіх громадян України на належні, безпечні і здорові умови праці, гарантовані статтею 43 Конституції України.

Основоположним документом в галузі охорони праці є Закон України «Про охорону праці», який визначає основні положення щодо реалізації права на охорону життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Отже, охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

Згідно визначення, об'єкт підвищеної небезпеки – це об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також інші об'єкти як такі, що відповідно до закону є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру.

Щодо розроблюваного в дипломній роботі змішувача сипких кормів, то він не підпадає під приведені визначення, та не є об'єктом підвищеної небезпеки. Проте в повітрі приміщення під час роботи змішувача може концентруватися пил, що, в разі надходження до приміщення відкритого вогню, може викликати пожежу.

Під час виконання робіт на оператора змішувача можлива дія небезпечних та шкідливих виробничих факторів згідно з державним стандартом

Фізичні:

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- рухомі частини виробничого обладнання – мішалка (спіраль); 64
- підвищена запиленість повітря робочої зони, виникає підчас роботи з комбікормом, який містить порошкоподібну фракцію;
- підвищена або знижена температура поверхні обладнання та матеріалів – виникає при роботі в неопалюваному приміщенні;
- підвищений рівень шуму на робочому місці – моторредуктор, ланцюгова передача;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може пройти через тіло людини – живлення електродвигуна 380 В;
- гострі краї, задирки і шорсткість на поверхнях конструкцій, інструменту і обладнання;

Біологічні:

- макроорганізми – частинки складових корму.

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження – операції, які виконуються вручну.

5.2 Екологічна експертиза

В наш час в процесі сільськогосподарської діяльності в Україні значна увага приділяється екологічній безпеці сільського господарства. 25 червня 1991 року Верховною Радою України прийнято закон «Про охорону навколишнього природного середовища». Виходячи з нього, охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини – невід’ємна умова економічного і соціального розвитку України. З цією метою Україна впроваджує на своїй території екологічну політику, направлену на збереження безпечної для існування живої та неживої природи навколишнього середовища, захисту життя і здоров’я населення від негативного впливу, обумовленого забрудненням навколишнього природного середовища, досягнення гармонічної взаємодії населення і природи, охорону, раціональне використання і поновлення природних ресурсів. Цей закон вимагає

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

правові, економічні і соціальні основи організації охорони навколишнього природного середовища в інтересах теперішнього і майбутнього покоління. Згідно цього закону інженерна служба господарства здійснює чіткий контроль за використанням і обслуговуванням сільськогосподарської техніки шляхом ведення більш вдосконаленої техніки та дотримання пристроїв. На молочно-товарній фермі ведеться контроль за використанням нафтопродуктів і ПММ, зберіганні і утилізацію відпрацьованих рідин, шин, акумуляторів та люмінесцентних ламп. Економічна експертиза дипломного проекту проводиться згідно до Закону України «Про екологічну експертизу» прийнятий Верховною радою України 9 лютого 1995 року. Екологічна експертиза представляє собою урегульовану нормами діяльність експертів по аналізу, перевірці і оцінці документації об'єктів і рішень на їх відповідність правилам і вимогам охорони праці навколишнього природного середовища і раціонального природо використання з метою попередження можливих негативних впливів на навколишнє середовище і забезпечення сприятливого стану.

5.3 Економічна ефективність розробки

У даному розділі визначається передбачувана економічна ефективність застосування розробленого змішувача сипких кормів у складі базової установки. Порівняння економічних показників розробленого та наведеного змішувачів проведемо за питомими експлуатаційними витратами, *П* грн./т., без прив'язки до конкретних об'ємів змішування. Розрахунки будемо проводити для однозмінної роботи. Вихідні дані для розрахунку зводимо в табл. 5.1.

Переваги експериментального змішувача перед серійним:

- зменшення енерговитрат за рахунок зниження питомої енергоємності процесу змішування;
- зменшення витрат на технічне обслуговування та ремонт за рахунок удосконалення конструкції та зменшення матеріалоємності.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до розрахунку техніко економічних показників

Показник	Варіанти	
	Прототип подрібнювач-змішувач	Розроблений подрібнювач-змішувач
Продуктивність, т/год.	2,0	2,15
Потужність, кВт	2,2	1,8
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Тривалість зміни, год.	8	8
Строк служби, років	10	10
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань	0,10	0,10
Коефіцієнт відрахувань на ТО та ре-монт	0,14	0,14
Балансова вартість, грн.	88900	-
Капітальні вкладення, грн.	-	65500

Питомі експлуатаційні витрати розрахуємо за виразом

$$P = P_z + P_a + P_m + P_e, \text{ грн/т}, \quad (5.1)$$

де P_z – питомі експлуатаційні витрати на виплату обслуговуючому персоналу заробітної плати, грн./т;

P_e – питомі витрати на електроенергію, грн./т;

P_a – питомі амортизаційні відрахування, грн./т;

P_m – питомі витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання, грн/т.

Питомі експлуатаційні витрати на заробітну плату визначимо з виразу

$$P_z = \frac{n \cdot f \cdot \delta}{Q} \text{ грн/т}, \quad (5.2)$$

де n – чисельність обслуговуючого персоналу, люд.

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

Мінімальна заробітна плата, з початку 2022 року, складає у місячному розмірі – 6000 грн., у погодинному розмірі – 36,11 гривень, тому приймаємо $f = 36,11$ грн./год.;

$\delta = 1,22$ – коефіцієнт нарахування на заробітну плату;

Q – продуктивність змішувача, т/год (табл. 5.1).

За формулою (5.2) за варіантами маємо

базовий

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{з.б} = \frac{1 \cdot 36,11 \cdot 1,22}{2,0} = 22,00 \text{ грн./т,}$$

розроблений

$$P_{з.б} = \frac{1 \cdot 36,11 \cdot 1,22}{2,15} = 20,49 \text{ грн./т.}$$

Питомі витрати на енергоресурси визначимо за формулою

$$P_e = \frac{N \cdot c_e}{Q}, \quad (5.3)$$

де N – потужність приводу змішувача, кВт.

$c_e = 2,12$ грн./кВт·год. – вартість електроенергії для II класу напруги до 27,5 кВ з ПДВ.

Тоді за формулою (5.3) маємо за варіантами:

базовий

$$P_{e.б} = \frac{2,2 \cdot 2,12}{2,0} = 2,33 \text{ грн./т,}$$

розроблений

$$P_{e.е} = \frac{1,8 \cdot 2,12}{2,15} = 1,77 \text{ грн./т.}$$

Питомі амортизаційні відрахування підрахуємо за формулою

$$P_a = \frac{\alpha \cdot B \cdot K}{Q} \text{ грн./т.} \quad (5.4)$$

де B – балансова вартість змішувача, грн.

α – нормований коефіцієнт відрахувань, %.

K – коефіцієнт використання засобів механізації, який розраховують за формулою:

$$K_e = \frac{t_{фак}}{t_{пл} \cdot 365}, \quad (5.5)$$

де $t_{фак}$, $t_{пл}$ – відповідно річне фактичне та планове навантаження машини;

Приводимо коефіцієнт використання засобів механізації до 1 години при однозмінній роботі протягом року.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_e = \frac{1}{8 \cdot 365} = 0,00034.$$

Тоді за формулою (5.3) маємо за варіантами:

базовий

$$P_{аб} = \frac{0,10 \cdot 88900 \cdot 0,00034}{2,0} = 1,51 \text{ грн./т.}$$

розроблений

$$P_{ан} = \frac{0,10 \cdot 65500 \cdot 0,00034}{2,15} = 1,03 \text{ грн./т.}$$

Питомі відрахування на ремонт і технічне обслуговування техніки обчислюють за виразом

$$K_e = \frac{\beta \cdot B \cdot K}{Q} \text{ грн./т.} \quad (5.6)$$

де β – нормований коефіцієнт відрахувань на ремонт змішувача, %.

Тоді з (5.6) за варіантами маємо

базовий

$$P_{ТОб} = \frac{0,14 \cdot 88900 \cdot 0,00034}{2,0} = 2,11 \text{ грн./т.}$$

розроблений

$$P_{ТOn} = \frac{0,14 \cdot 65500 \cdot 0,00034}{2,15} = 1,45 \text{ грн./т.}$$

Загальні питомі експлуатаційні витрати (5.1) за варіантом складуть:

базовий

$$P_б = 22,02 + 2,33 + 1,51 + 2,11 = 27,97 \text{ грн./т.}$$

розроблений

$$P_n = 20,49 + 1,77 + 1,03 + 1,45 = 24,74 \text{ грн./т.}$$

Економія питомих експлуатаційних витрат при впровадженні розробленого експериментального подрібнювача-змішувача:

$$E_e = P_б - P_n = 27,97 - 24,74 = 3,23 \text{ грн./т.} \quad (5.7)$$

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Строк окупності експериментального змішувача при його впровадженні можна визначити наступним чином:

$$T = \frac{B_e}{3 \cdot E_e} \text{ роки,} \quad (5.8)$$

де P – річний об'єм робіт, т.

Визначимо річний об'єм робіт експериментального змішувача при різному ступені його завантаження:

$$P = \frac{Q \cdot k_{вз} \cdot t_{зм} \cdot D \cdot i_{зав}}{100} \text{ т,} \quad (5.9)$$

де $k_{вз}$ – коефіцієнт використання часу зміни, $k_{вз} = 0,9$;

$i_{зав}$ – ступінь завантаження змішувача, %.

Тоді при завантаженні на 100 відсотків

Питомі приведені витрати розраховують за таким виразом

$$ПП = П + \frac{B}{P} \cdot E \text{ грн./т,} \quad (5.10)$$

Де $E = 0,15$ – нормований коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Розрахуємо питомі витрати за базовим та проектним варіантом за формулою (5.10) при завантаженні на 100 відсотків

базовий

$$ПП_б = 27,97 + \frac{88900}{5650,2} \cdot 0,15 = 30,33 \text{ грн./т,}$$

розроблений

$$ПП_р = 27,97 + \frac{65500}{5650,2} \cdot 0,15 = 26,47 \text{ грн./т.}$$

Розрахуємо річний економічний ефект від впровадження у виробництво запропонованого нами варіанту при завантаженні на 100 відсотків

$$E = (ПП_б - ПП_р) \cdot P = (30,33 - 26,47) \cdot 5650,2 = 21809,77 \text{ грн.}$$

Усі показники економічної ефективності зведемо в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Показники економічної ефективності розробленого змішувача

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Показник	Варіант		Проектований у % до базового
	Базовий подрібнювач- змішувач	Розроблений подрібнювач- змішувач	
Продуктивність, т/год.	2,0	2,15	107,5
Обслуговуючий персонал, люд.	1,0	1	100,0
Балансова вартість, грн.	88900	-	-
Капітальні вкладення, грн,	-	65500	-
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	27,97	24,74	88,5
В т.ч.: - заробітна платня	22,02	20,49	93,1
- витрати на електроенергію	2,33	1,77	76,0
- амортизаційні відрахування	1,51	1,03	68,2
- витрати на ТО та ремонт	2,11	1,45	68,7
Максимальне річне навантаження, т	-	6550,2	-
Економія типових експлуатаційних витрат, грн./т	-	3,23	-
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	18250,14	-
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	3,58	-

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведений аналіз основних напрямів конструктивно-технологічного вдосконалення машин для виробництва комбікормів показав перспективність розвитку та застосування машин невисокої продуктивності для малих та середніх фермерських господарств.

Проведено теоретичні дослідження процесу взаємодії продукту з робочими органами подрібнювача-змішувача та розроблено методику розрахунку його основних параметрів. Запропоновано рівняння для визначення потужності, що витрачається на процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів.

Розв'язання задачі оптимізації процесу подрібнення та змішування компонентів комбікормів дозволило визначити оптимальні параметри процесу в конструкції роторного подрібнювача-змішувача вертикального типу: кутова швидкість обертання ротора подрібнювача-змішувача $\omega = 415$ рад/с, теоретична продуктивність подрібнювача-змішувача $Q_T = 141,6$ км/год, при оптимальному часі циклу роботи машини $t = 60$ с та сумарної площі робочих органів ротора подрібнювача-змішувача складової $S = 11088$ мм².

Техніко-економічна оцінка експериментального змішувача показала, що в порівнянні з базовим подрібнювачем-змішувачем він має переваги за експлуатаційними витратами, за рахунок зменшення енергоємності та збільшення продуктивності. При цьому економія експлуатаційних витрат складе 18250 грн. а строк окупності при впровадженні 3,58 роки.

					КРМ.133ГМмд_23.13.000 ПЗ	Аркуш
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		