

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний

**Кафедра Технології та обладнання переробних і харчових
виробництв**

Пояснювальна записка до дипломної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: «Удосконалення процесів подрібнення та змішування при
виробництві комбікормів гранулометричного складу»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «магістр» групи 3
Кочерга С.І.

Керівник: Костенко О.М.

Рецензент: Горбенко О.В.

Полтава – 2021 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 67 сторінок, 24 рисунки, 4 таблиці, 1 додаток, 27 джерел.

Об'єктом досліджень є процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів в роторному подрібнювачі-змішувачі вертикального типу.

Предмет досліджень - закономірності процесу змішування при подрібненні компонентів комбікормів в подрібнювачі-змішувачі.

Метою роботи є обґрунтування конструкції та режимів роботи подрібнювача-змішувача, який забезпечує отримання однорідних комбікормів необхідного гранулометричного складу.

Методи досліджень – обґрунтування режимів роботи подрібнювача-змішувача, який забезпечує отримання однорідних комбікормів необхідного гранулометричного складу.

В результаті досліджень проведені комплексні експериментальні дослідження процесів подрібнення та змішування, в результаті яких встановлені раціональні режими роботи і схеми конфігурації робочих органів розробленого подрібнювача-змішувач; визначені оптимальні параметри процесу в конструкції роторного подрібнювача-змішувача вертикального типу: кутова швидкість обертання ротора подрібнювача-змішувача $\omega = 415$ рад/с, теоретична продуктивність подрібнювача-змішувача $Q_T = 141,6$ кг/год. при оптимальному часі циклу роботи машини $t = 60$ с і сумарній площі робочих органів ротора подрібнювача-змішувача $S = 11088$ мм²; виконано техніко-економічне обґрунтування розробки.

Ступінь впровадження – результати досліджень були впроваджені в технологічному процесі виробництва комбікормів.

Галузь застосування – переробна галузь.

В результаті впровадження результатів дослідження у виробництво очікується річний економічний ефект 188363 грн.

КОМБІКОРМА, ПОДРІБНЮВАЧ-ЗМІШУВАЧ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОСМНІСТЬ ПРОЦЕСУ, БЕЗПЕКА, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1 Аналіз конструктивних особливостей подрібнювальних машин	9
1.2 Аналіз конструктивних особливостей змішувачів	14
2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	18
2.1 Експериментальна установка	18
2.2 Методика експериментальних досліджень	22
2.3 Математична модель процесу змішування при подрібненні компонентів комбікормів у подрібнювачі-змішувачі	
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	34
3.1 Дослідження впливу конструктивних параметрів подрібнювача-змішувача на процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів	34
3.2 Вплив режимів роботи подрібнювача-змішувача на ефективність процесу подрібнення ячменю	36
3.3 Вплив режимів роботи подрібнювача-змішувача на ефективність процесу змішування	43
3.4 Вплив параметрів роботи подрібнювача-змішувача на процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів	50
3.5 Оптимізація процесу подрібнення та змішування компонентів комбікормів	54
4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ	57
4.1 Екологічна експертиза	57
4.2 Охорона праці	60
4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень	63

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
ДОДАТКИ	70
Додаток А Результати експериментальних досліджень	71

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час економічна ситуація в країні обумовлює розвиток невеликих виробництв, здатних швидко перестроюватися на різний вид продукції, що користується попитом у споживача. Використання передових технологій, які враховують такі фактори як енерго- і ресурсозберігання, можливість випуску широкої номенклатури виробів, робить актуальним розвиток даного напрямку.

Потреба у виробництві недорогих комбікормів для потреб дрібних і середніх селянських і фермерських господарств постійно зростає. У той же час на сьогоднішній день відсутній серійний випуск комбікормового обладнання для вирішення даної проблеми. Всі ці чинники обумовлюють необхідність розробки і використання нового обладнання, здатного виробляти дешево, швидко і якісно, при цьому залишаючись надійним, універсальним, простим в експлуатації.

У сучасних умовах ринкової економіки, при виробництві комбікормів, мікродобавок і БВД в невеликих кількостях, все більшого поширення набувають машини багатофункціональної дії, що поєднують в собі два або більше фізичних процесів впливу на матеріал. При суміщенні процесів подрібнення і змішування матеріалів на стадіях підготовки сировини, як правило, загальні енерговитрати знижуються.

Означені тенденції по розробці машин, які суміщають в собі декілька процесів, обґрунтовують виробництво подрібнювально-змішувальної машини здатної виробляти недорогі комбікорми для власних цілей з необхідною якістю продукції.

Мета дослідження – обґрунтування режимів роботи подрібнювача-змішувача, який забезпечує отримання однорідних комбікормів необхідного гранулометричного складу.

Завдання досліджень:

- визначити основні конструктивні параметри, що впливають на процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів;
- розробити математичну модель процесу подрібнення та змішування багатокомпонентної комбікормової суміші;
- виявити за допомогою експериментальних досліджень раціональні режими роботи запропонованої подрібнювально-змішувальної машини та провести оптимізацію процесів, що відбуваються.
- запропонувати конструкцію подрібнювача-змішувачів для виробництва комбікормів та визначити економічну ефективність від використання розробленої машини.

Об'єкт дослідження – процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів в роторному подрібнювачі-змішувачі вертикального типу.

Предмет дослідження – закономірності процесу змішування при подрібненні компонентів комбікормів в подрібнювачі-змішувачі.

Методи дослідження – аналітичні, графічні, експериментальні. Обробка результатів досліджень проводилася за допомогою комп'ютера.

Теоретична та практична значущість. Розроблена методика визначення параметрів процесів подрібнення та змішування багатокомпонентної комбікормової суміші та ступеня їх впливу на якість отриманого продукту, а також необхідної потужності, а також методика, що дозволяє розрахувати показники процесу змішування при одночасному подрібненні компонентів комбікормової суміші.

Запропонована конструкція роторного подрібнювача-змішувача вертикального типу.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз конструктивних особливостей подрібнювальних машин

В даний час не розроблені єдині підходи або принципи класифікації подрібнювальних машин. Є велика кількість різних варіантів класифікації машин, які запропонували, наприклад, В.І.Акунов, В.П.Барабашкін, Д.Беренс, В.Н.Блінч, А.В.Брославський, А.Р. Демідов, А.А. Єлісеєв, А.І.Косарев, Б.В.Клушанцев, Р.Рилей і інші. Ці класифікації засновані на конструктивних ознаках машин, їх технологічної ефективності, можливій мірі подрібнення матеріалу і необхідній тонкості готового продукту.

Основним обладнанням для подрібнення зерна в комбікормовій промисловості є молоткові дробарки [3, 4].

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

В даний час в комбікормовій промисловості та вітчизняному сільському господарстві використовують молоткові та роторні дробарки наступних типів: А1-ДМ2Р-55, А1-ДМР, А1-ДДП, А1-ДДР, ДР 4х4, ДР6х6, ДКУ-М, ДКУ-1,0, КДУ-2,0, рідше - ДДМ, ДМ, ДМ-440У, ММ-140 та ін., а також закордонних фірм. В останні роки розроблені та впроваджені мінідробарки. Їх переваги – стабільність процесу подрібнення різних видів зерна, можливість регулювання якості помелу, простота робочих органів, надійність в роботі. Недоліки – різке зниження продуктивності та підвищення енергоємності при значному зносі зубців ротора та дека в процесі експлуатації, що потребує регулярної перестановки та заточки зубців [3, 4].

Найбільш розповсюдженими дробарками з радіальною подачею продукту є дробарка А1-ДМР, яка випускається трьох модифікацій: А1-ДМР-6, А1-ДМР- 12, А1-ДМР-20. Відмінності модифікацій полягають в довжині ротора, величині просіюючої поверхні та потужності електродвигуна [2].

Здійснюється випуск і новіших конструкцій дробарок. Дробарка ДЗ-6, що входить в лінію виробництва комбікормів продуктивністю 4 т/год., ДЗ-1, що має меншу продуктивність і невеликі конструктивні відмінності. Відмінною особливістю ДЗ-6 є дека, складена з паралельних елементів (колосників) квадратного перетину з можливістю зміни кута удару від 0^0 до 45^0 , яка дозволяє безступінчасто змінювати ступінь подрібнення, своєчасно відводити готовий продукт з дробильної камери, довговічніша в порівнянні з решетами. Дробарка забезпечує продуктивність до 6,3 т/год. з можливістю регулювання модуля помелу від 1,5 до 2,1 мм.

В даний час намітилася тенденція до виробництва малогабаритних високоефективних дробарок продуктивністю 100-500 кг/год., які можливо використовувати в малих фермерських і особистих підсобних господарствах. Прикладами дробарок такого типу є ДБК з 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. і ряд інших [2].

Серед зарубіжних конструкцій молоткових дробарок з радіальною подачею продукту найбільш ефективні дробарки фірми «Бюлер-МІАГ» DMSE, Ціналь, DFZC. Для регулювання завантаження цих дробарок використовується вібраційний живильник з ручним або автоматичним управлінням.

В останні роки багато закордонних фірм сконструювали дробарки, в яких передбачена заміна сит без зупинки електродвигуна, що скорочує простої дробарок.

Французька фірма «Промілл» випускає дробарки моделі Брайер з 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 НМ2D. Конструкція молоткових дробарок досить проста, і в той же час в ній враховані сучасні вимоги до обладнання для кормовиробництва: високий

рівень автоматизації і можливість роботи в оптимальних режимах; наявність магнітного сепаратора і 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 і при необхідності двошвидкісних електродвигунів. Особливостями конструкції дробарки є наявність пристрою-пастки для виділення важких частинок з потоку сировини за рахунок зміни траєкторії руху більш легких частинок продукту повітряним потоком і виготовлення ротора дробарки монолітним, який має велику масу, що в порівнянні зі збірними роторами, різко знімає вібрацію всієї дробарки і підвищує надійність її роботи. Новітні розробки фірми включають наявність регулятора частоти струму, що дозволяє змінювати частоту обертання ротора в широкому діапазоні і підбирати оптимальну швидкість, виходячи з особливостей матеріалу, що подрібнюється, сировини і вимог до готової продукції. Це є новою ідеєю в напрямку поліпшення процесу подрібнення і цілком має право на існування [2,4].

Останнім часом все частіше можна зустріти конструкції дробарок з вертикальним робочим валом, в яких робочий процес організований з найбільшою ефективністю за рахунок більш повного використання енергії ударів робочих органів [3].

З'явилися абсолютно нові конструкції подрібнювачів. Так, по даними Я.Л.Гіршсона, а пізніше Ф.Л.Когуса найекономнішим способом руйнування зерна є різання: зерно чинить опір при різанні в 3-4 рази менше, ніж при стисненні. Отже, застосування даного способу у відповідних робочих органах дробарки має дати позитивний результат. Однак, при проведенні випробувань дробарок, забезпечених молотками у вигляді фрез, подрібнюючих корм за принципом різання, не дало очікуваного ефекту. Навпаки, питома витрата енергії збільшилась більш ніж в два рази.

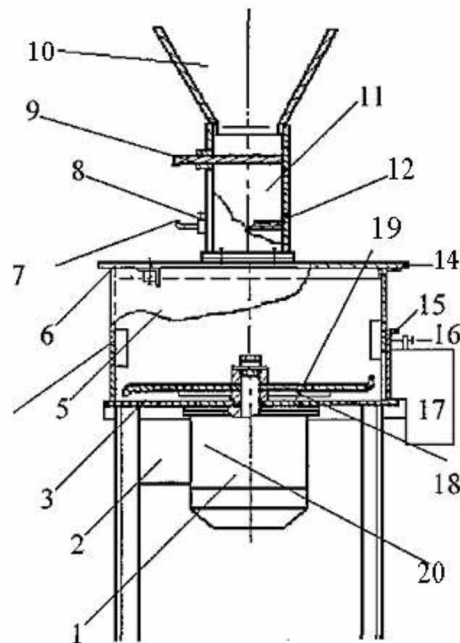
В даний час розробляються і виробляються ентолейтори і інші дробарки, в яких руйнування зернового продукту відбувається в результаті його розгону

на кидкових пристроях - тримерах в радіальному напрямку, і подальшого удару об корпус дробарки. Послідовно проходячи три тримера, зерновий продукт подрібнюється в необхідній мірі. Така дробарка не має робочих органів (молотків, бічів, сит), які швидко зношуються. Автори конструкції дробарки стверджують, що трьохстадійний процес подрібнення знижує знос деталей і енергоємність процесу в 2-3 рази і збільшує однорідність помелу по заданому гранулометричному складу [2,4].

Дробарки для подрібнення зерна, що випускаються в даний час, можна поділити по продуктивності на дві групи: для особистих господарств - 6130кг/год. при встановленій потужності електродвигуна 0,45-1,6 кВт і для великих виробництв - 1,0-5,0 т/год. при потужності 22-36 кВт.

На жаль дробарки, призначені для особистих господарств, є зменшеними копіями дробарок промислового типу з притаманними їм недоліками: складність виготовлення; велика кількість дорогих комплектуючих виробів; неможливість відновлення зношених робочих органів у звичайних умовах. Все це викликало необхідність в недорогих, простих у виготовленні і експлуатації дробарок, призначених для подрібнення зерна, що йде на корм тваринам і птиці. Тому виникла необхідність у створенні нових конструктивно-технологічних схемах дробарок [4].

Конструкція такої дробарки представлена на рисунку 1.1. Дробарка працює в періодичному і безперервному режимі. При роботі в періодичному режимі щільно закривають верхню і нижню заслінки, встановлюють суцільний шибер і включають електродвигун. У бункер засипають зерно. впевнившись, що електродвигун набрав номінальне число обертів, відкривають верхню заслінку, заповнюють дозатор зерном, після чого цю заслінку закривають, а нижню відкривають. Закривають її через 2 -3 с після спорожнення дозатора. Аналогічно в робочу камеру дробарки засипають ще одну порцію зерна і дроблять протягом двох хвилин. Потім відкривають шибер, і розмелене зерно вивантажується через горловину в мішок, закріплений на ній. Далі процес повторюється аналогічно описаному вище [2,4].



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 - вивантажна горловина; 18 - молоток; 19 - лопать; 20 - втулка.

Рисунок 1.1 - Технологічна схема дробарки

При дробленні зерна в безперервному режимі замість суцільного шибера встановлюють шибер з отворами діаметром 3, 4 або 5 мм в залежності від модуля помелу. Повністю відкривають верхню заслінку, а нижньою 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 в бункер. Відкривають верхню заслінку, зерно заповнює ємність дозатора, і через встановлений зазор в потрібній кількості надходить в робочу камеру дробарки. Роздрібнені частинки зерна через отвори в шибері і горловину вивантажується в мішок. Автори даної конструкції дробарки при її розробці зробили спробу врахувати властивості повітряного шару продукту, однак наведені міркування про величину швидкості цього шару не представляють собою серйозного наукового дослідження.

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

У процесі подрібнення зернової сировини в дробарках і подрібнювальних машинах відбуваються процеси подрібнення і змішування.

1.2 Аналіз конструктивних особливостей змішувачів

Змішувачі широко використовують при виробництві кормів, повнораціонних сумішей, комбікормів, преміксів і білково-вітамінних добавок (БВМД) в різних галузях народного господарства.

На сьогоднішній день існує величезна кількість конструкцій змішувальних пристроїв, які відрізняються один від одного за дуже багатьма ознаками: за способом установки (стаціонарні або пересувні); за механізмом процесу змішування (дифузійного, конвективного або дифузійно-конвективного змішування); за характером технологічного процесу (періодичного або безперервної дії); за способом впливу на суміш (гравітаційні, пневматичні, вібраційні та ін.); по швидкості обертання робочих органів (тихохідні і швидкохідні); за способом переміщення частинок (циркуляційні, з хаотичним переміщенням частинок); за конструктивними відмінностями (спіральні, лопатеві, з обертовим перемішуючим органом і нерухомим корпусом, з обертовим корпусом і стаціонарними робочими органами, з вертикальними, похилими, горизонтальними і перехресними валами); за способом завантаження-розвантаження (ручна або механічна); за суміщенням з

іншими технологічними операціями (транспортувально-змішуючи, подрібнювально-змішуючи та ін.).

Змішувачі для сипучих матеріалів доцільно класифікувати за видом силового впливу на змішувальний матеріал і конструктивними ознаками [4].

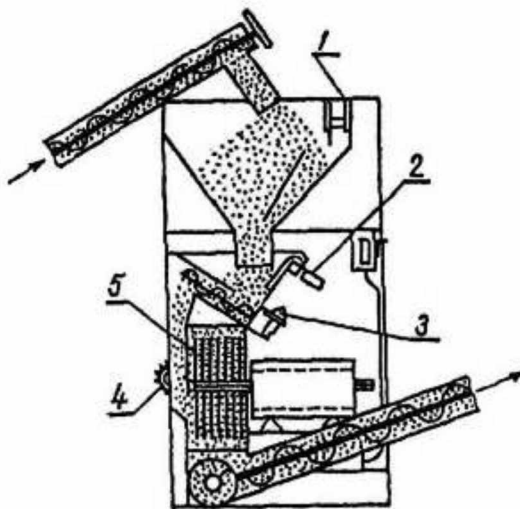
При виробництві комбікормів, преміксів і БВМД на підприємствах і фермах існують дві різні схеми побудови технологічного процесу - це схеми з технологічною ділянкою, засновані на порціонному дозуванні, і з технологічною ділянкою дозування-змішування. У шнекових лопатевих змішувачах робочими змішувальними органами є вали шнеки з Т-подібними гвинтовими лопатями або лопатями іншої форми. Більшість шнекових лопатевих змішувачів мають один вал, що обертається в коритоподібному корпусі. Для поліпшення якості змішування в деяких конструкціях одновальних змішувачів використовують привід, який здійснює обертання і одночасно зворотно-поступальний рух вала. Прикладом конструкції для виробництва комбікормів є шнековий вертикальний змішувач марки ВШС-2. Внаслідок невеликій швидкості обертання змішувальних валів ($v=10-15\text{хв}^{-1}$) процес змішування в апаратах з обертовими лопатевими робочими органами відносно тривалий.

Інтенсивна циркуляція сипучого матеріалу, необхідна для ефективного змішування, досягається в змішувачах відцентрової дії з обертовим конусом [2].

Прямоточний відцентровий змішувач-подрібнювач «Інтолетер», що випускається англійською фірмою «Генрі Симон», використовується в тих випадках, коли необхідно поєднати операції змішування і подрібнення .

Для подрібнення і змішування різних компонентів використовується подрібнювач-змішувач кормів ИСК-3. Він був розроблений замість дробарки-подрібнювача ДИС-1М і значно перевершує його за техніко-економічними показниками. Подрібнювачі-змішувачі типу ИС-30, ИСК-30, ИСК-3 добре переробляють сіно і соломку будь-якої вологості. Їх конструктивно-технологічні схеми аналогічні, однак ИСК-3 найбільш ефективний [2,4].

Для переробки зернових компонентів промисловість США випускає кілька типів дробарок-змішувачів, які встановлюють в зерноскладах або в потоці кормороздаткової лінії (рис.1.2).



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

Рисунок 1.2 – Дробарка-змішувач «Мікс-Милла»

Пристрій «Мікс-Милла» побудована та працює наступним чином. Різні види зерна, що підлягають подрібненню і змішуванню, шнеками завантажуються в певному співвідношенні в приймальний бункер. Дозатор 3 подає зернову суміш в дробарку 5. При цьому магніт 4 очищає зерно від металевих домішок. Подрібнені і змішані корми вивантажуються шнеком в транспортні засоби. Налаштування установки на роботу по заданому рецепту здійснюється завантажувальними шнеками, приймальна частина яких має пристрої, що дозволяють регулювати їх продуктивність. Шнеки тарируються кожен раз, коли змінюється вид або якість зерна. Завантаження в бункер необхідної кількості зерна регулюється автоматично залежно від продуктивності дробарки. При заповненні бункер зерном шнеки відключаються. По мірі звільнення бункера спрацьовує автоматичний вимикач 2 і всі чотири шнека включаються в роботу. Подачу зерна в дробарку регулюють зміною обертів шнекового дозатора 3.

Промисловість США випускає і інші дробарки-змішувачі.

У сучасних умовах ринкової економіки, при виробництві комбікормів, мікродобавок і БВД в невеликих кількостях, все більшого поширення набувають машини багатофункціональної дії, що поєднують в собі два або більше фізичних процесів впливу на матеріал. При суміщенні процесів подрібнення і 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 по магістралях або живильниках виключає зі схеми бункера для проміжного зберігання матеріалів, що, в свою чергу, виключає його злежування, а також насичення атмосферною вологою.

Для ефективного проведення процесу подрібнення і змішування зернових компонентів комбікормів необхідно вивчати ці два процеси в сукупності. Отже, підняте питання є актуальним.

Висновок. Аналіз літературних джерелі показує, що до числа основних технологічних операцій, що реалізуються в комбікормовій промисловості, відносяться подрібнення і змішування комбікормових сумішей.

В результаті проведеного огляду наукової літератури намічені основні напрямки конструктивно-технологічного вдосконалення машин багатофункціональної дії для виробництва комбікормів, спрямованих на поєднання процесів подрібнення і змішування в одній машині.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Експериментальна установка

Для дослідження процесу подрібнення і змішування комбікормових сумішей і вирішення поставлених завдань була виготовлена експериментальна установка.

Експериментальна установка працює в режимі періодичної дії. Вона дозволяє в процесі експерименту застосовувати різні конструктивні схеми установки двох поярусно розташованих робочих органів з різним числом лопатей, кількістю бункерів (від 2 до 4), варіювати кутову швидкість обертання ротора. Крім крутного моменту, 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 вимірам, візуальному спостереженню, фото-відеозйомок.

Лабораторна установка (рис.2.2) включає в себе експериментальний зразок подрібнювально-змішувальної машини з вертикальним розташуванням ротора, що складається з наступних основних вузлів: станини - 1, робоча камера 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. Станина являє собою зварну конструкцію. Привід ротора здійснюється від електродвигуна за допомогою клинопасової передачі. Електродвигун (потужність 1,8 кВт, $n = 6500$ об/хв.) кріпиться до платформи, за допомогою якої по напрямних в швелерах рами відбувається натяг ремня передачі. На станині 1 кріпиться вал 2, на якому встановлюються підшипники. До корпусу підшипникового вузла 3 кріпиться планшайба 4, яка встановлена з

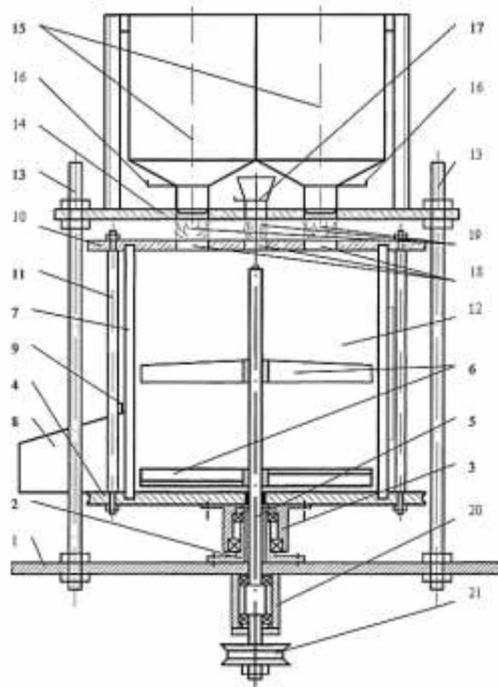
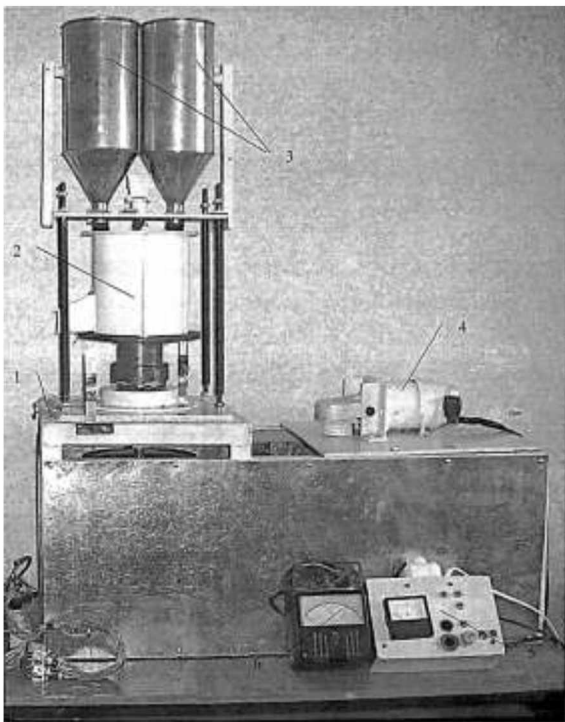


Рисунок 2.2 – Загальний вид та схема експериментального подрібнювача-змішувача

Вид зверху експериментального подрібнювача-змішувача зі знятою кришкою показаний на рисунку 2.3.

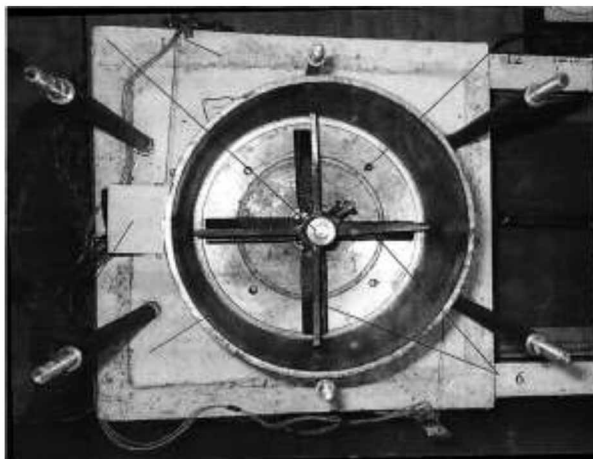


Рисунок 2.3 – Схема експериментального подрібнювача-змішувача зі знятою кришкою

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, яка містить вивантажний патрубок 8 з

наявної висувною засувкою 9, яка разом з прозорою кришкою 10 і 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 установчій плиті 14, виконані отвори, в які можуть бути встановлені від двох до чотирьох установочних бункерів 15 з висувними заслінками 16 для подачі компонентів комбікормів, а також установлений дозатор 17 для контрольного компонента. У прозорій кришці 10 виконані завантажувальні отвори 18 відповідно по осях симетрії вихідних патрубків бункерів 15 та дозатора 17. Зазори між завантажувальними отворами 18 в прозорій кришці 10 і вихідними патрубками бункерів 15, встановлених в прозорій установчій плиті 14, герметизовані м'якими повітронепроникними рукавами 19. До станини 1 з нижньої сторони кріпиться стакан 20, в якому встановлений вал ротора 5, на нижньому кінці якого встановлений приводний шків 21. Можливість обертання планшайби 7 обмежується лише пристроями вимірювання крутного моменту, який може бути встановлений за допомогою тензометричних балок-стійок, пов'язаних з планшайбою 7 гнучкими нерозтяжними нитками.

Лабораторна подрібнювально-змішувальна машина працює наступним чином (рис. 2.2). З завантажувальних бункерів 15 в робочу камеру 12 подається вихідна суміш компонентів комбікорму, де вона піддається подрібненню і змішуванню. Подрібнювальні та змішувальні компоненти розганяються робочими органами 6, створюють повітряний потік, і під дією відцентрових сил відкидаються на внутрішню поверхню обичайки 7, на яку передається крутний момент, що реєструється тензодатчиками, приклеєним до балок. При цьому в робочій камері 12 відбувається циркуляція матеріалу по замкнутому контуру, яка забезпечує змішування частинок і їх одночасне подрібнення у всьому об'ємі апарата. Руйнування частинок суміші відбувається за рахунок багатократного зіткнення частинок між собою, ударів о робочі органи 6, ударів і стирання об обичайку 7, тертя в зазорах між торцем робочих органів 6 і стінкою установки,

а також між днищем і нижньою частиною робочого органу. Наявність двох попарно розташованих робочих органів 6 по всій висоті робочої камери 12 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 подрібнювальних і змішувальних компонентів в робочу камеру 12 регулюється заслінками 16. Після закінчення часу 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. Тиск може бути визначено за допомогою додаткової циліндричної обичайки 7 по деформації тензочутливих елементів 9 і фіксується вимірювальною системою. Наявність прозорої кришки 10 дозволяє проводити фото- і відео спостереження за поведінкою продукту в робочій камері, а також здійснювати безпосередній візуальний контроль над процесом подрібнення і змішування.

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

Величину кільцевого повітряно-продуктового шару визначають за допомогою градуйованої шкали, нанесеної на прозору кришку установки.

Об'єм робочої камери, утвореної кришкою, обичайкою і 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.

Живлення електрообладнання проводиться від мережі однофазного змінного струму напругою 220 В , частоті 50 Гц . Напруга ланцюгів живлення управління - 220 В . Захист кіл від струмів короткого замикання здійснюється автоматичним вимикачем з електромагнітним роз'єднувачем.. Від перевантажень електродвигун захищений електротепловим реле.

Ефективність роботи експериментальної установки оцінювали по гранулометричному складу вихідної і подрібненої суміші компонентів комбікорму, ступеня їх подрібнення і ступеня змішування.

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

2.2 Методика експериментальних досліджень

Для досліджень закономірностей процесу подрібнення та змішування компонентів комбікормів використовували ячмінь рядовий та суміш компонентів, що використовується для приготування повнораціонних комбікормів для великої рогатої худоби. Контрольним компонентом є хлорид натрію (NaCl).

При відборі середнього зразку сировини або готової продукції для проведення досліджень використовували стандартну методику ГОСТ 13586-2015 «Зерно. Правила приемки и методы отбора проб» [2]. Вологість зернової сировини та продуктів переробки визначали за ГОСТ 13586.5-93. «Зерно. Методы определения влажности» [3], засміченість зерна за ГОСТ 30483-97 «Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержание металломагнитных примесей» [4], об'ємну масу по ГОСТ 10840-2017 «Зерно. Метод определения натурности» [5].

Для відбору проб в ході проведення експерименту традиційна методика була дещо змінена.

Досліджували залежність ступеня подрібнення і однорідності суміші від конструкції робочих органів, частоти обертання ротора лабораторної установки, тривалості циклу роботи машини, ступеня завантаження продуктом камери, вагового співвідношення компонентів, виду подрібнювальних і змішуваних компонентів. Для отримання більш точної інформації про закономірності процесу подрібнювання-змішування застосовували суміш компонентів комбікормів. За основу була прийнята гіпотеза В.В.Кафарова, що «будь-яку багатокомпонентну суміш можна розглядати як результат змішування двох компонентів, повторених певне число раз».

Для встановлення впливу раніше зазначених факторів на якість процесу подрібнення-змішування компонентів комбікормів прийняті наступні межі і кроки їх варіювання: частота обертання валу ротора лабораторної установки 250...550 рад/с, час циклу роботи установки 15... 120 с; маса порції завантажувальних компонентів 1,5, 2 і 3 кг; вологість основного компонента 8...18 %, концентрація контрольного компонента 0,1...1,0 %.

Для вимірювання ступеня змішування (однорідності суміші) застосовували статистичний метод, при якому з суміші витягалася вибірка проб, що піддавалася аналізу.

Проби відбирали за допомогою спеціально виготовленого пробовідбірника, що забезпечує взяття їх з будь-якого місця в лабораторній установці, не порушуючи структури суміші. Величина проб перебувала в межах $(35...45) \cdot 10^{-3}$ кг.

Аналіз проб полягав у визначенні концентрації контрольного компонента.

Визначення хлориду натрію (NaCl) проводили методом потенціометричного титрування хлоридів (іонометричний метод) по ДСТУ 3782-98 «Комбікорми. Комбікормова сировина. Методи визначення вмісту натрію та хлориду натрію» [6]. Сутність методу полягає в екстракції хлориду натрію (NaCl), що міститься в пробі, буферним розчином гідроксиду кальцію (CaOH) і подальшому визначенні натрію методом добавок за допомогою скляного натрійселективного електрода ЕСЛ-51-07. В якості електрода

порівняння використовували хлор-срібний насичений електрод зразковий 2-го розряду по ГОСТ 17792-72 «Электрод сравнения хлорсеребряный насыщенный образцовый 2-го разряда» [7]. Реєструючим приладом був цифровий іономір типу И-130М.

Одним з основних показників процесу подрібнення-змішування в робочій камері подрібнювача-змішувача є споживана потужність. Досліджували вплив на споживану потужність частоти обертання ротора подрібнювача-змішувача, різної величини завантаження робочої камери лабораторної установки і вологості суміші. При кожному досліджуваному значенні частоти обертання ротора лабораторної установки визначали витрати потужності при холостому ході. При обробці результатів експериментів і побудові залежностей враховувалася потужність, що витрачається безпосередньо на процес подрібнення-змішування.

Для перевірки відтворюваності отриманих результатів всі досліди проводилися тричі. Стабільність отриманих даних підтвердила надійність роботи всіх систем установки.

Отримані таким чином експериментальні дані дозволяють досить повно охарактеризувати процеси, що відбуваються в робочій камері лабораторного подрібнювача-змішувача при подрібненні і змішуванні багатокомпонентних систем.

Визначення гранулометричного складу подрібненого продукту. Гранулометричний склад вихідного і подрібненого зерна визначали наступним чином: за стандартною методикою (ГОСТ 13496.8-72 «Комбикорма. Методы определения крупности размола и содержания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений») [8] відбирали середній зразок від аналізованого продукту, виділяли шляхом розподілу три навішування по 100 г кожна. Розсортовували навішування протягом 5 хв. на розсіві-аналізаторі РЛ-47 з набором штампованих сит з круглими отворами діаметром 4,0; 3,0; 2,0 і 1,0 мм, а також капронових сит № 15 та № 27. Залишок на кожному ситі зважували на електронних вагах, перераховували у відсотках до загальної маси навішування.

Не розмелені зерна зважувалися і виражалися у відсотках до загальної маси навішування.

Крупність подрібнення оцінювали чотирма групами (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Вимоги до гранулометричного складу подрібненого складу зернових культур

Групи крупності	Залишок (%) на ситі з діаметром отворів, мм			Вміст цільних 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 5
4	-	не більше 5	не більше 5	не більше 5

Визначення ступеня однорідності суміші. Узагальнюючи існуючі методи оцінки ступеня однорідності суміші можна констатувати, що основою їх є статистичний аналіз, при яких суміш умовно вважають двохкомпонентною, один з компонентів якої є ключовим, а всі інші об'єднуються в інший. За ступенем розподілу контрольного компонента і судять про якість суміші. Таким чином, в двохкомпонентній 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 в якості основного критерію оцінки якості суміші приймають середнє відхилення вмісту контрольного компонента в пробах, взятих з суміші.

Величину σ оцінимо через вибірккову дисперсію (середньоквадратичне відхилення) концентрації контрольного компонента суміші в пробах [1, 61]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_j^l (c_{ji} - \bar{c})^2}{nl-1}}, \quad (2.1)$$

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

\bar{c} - середня значення концентрації, г;

n - кількість вибраних точок відбору і об'ємі подрібнювача-змішувача.

Середнє значення концентрації контрольного компонента суміші, що розраховується за формулою:

$$\bar{c} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l \frac{c_{ji}}{nl}. \quad (2.2)$$

При великому числі проб величина \bar{c} - сходиться по ймовірності з математичним очікуванням m випадкової величини c_{ji} (вміст контрольного компонента в пробі). Середньоквадратичне відхилення σ залежить від величини \bar{c} і має її розмірність. Це не дозволяє використовувати величину σ в чистому вигляді для порівняльної оцінки якостей сумішей з різним вмістом в них контрольного компонента. Тому переходять до відносної форми величини σ , відносячи її до деякої величиною σ_0 , в яку багато дослідників вкладають різний сенс.

У нашій країні найбільшого поширення в якості оцінки критерію якості змішування отримав коефіцієнт неоднорідності (варіації) v , що розраховується за формулою:

$$v = \frac{\sigma \cdot 100}{\bar{c}} = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (c_{ji} - \bar{c})^2}{nl-1}}, \% \quad (2.3)$$

За критерій оцінки якості суміші приймається коефіцієнт неоднорідності v .

Для дослідження процесу змішування в установках періодичної дії, для оцінки якості, найчастіше використовують один із способів відбору проб: квартування або точковий відбір.

Квартування полягає в тому, що суміш повністю вивантажується з камери, розрівнюється на гладкому піддоні і ділиться на бажане число квадратів, з яких згодом відбираються проби необхідної ваговій маси. При точковому способі відбору проб в 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 при деякому видозміні. Конструктивні особливості подрібнювача-змішувача, в якому досліджується процес, дозволяють використовувати методику точкового відбору проб без вивантаження матеріалу з нього. Для цього весь об'єм подрібнювача-змішувача був розділений по радіусу на три зони, де в кожній зоні через рівні дуги діаметра окружності обичайки, проводилася виїмка проб [8]. У кожній з n точок буде певне середнє значення концентрації ключового компонента. З суміші відбирають обмежене число проб, аналізом яких визначається n значень концентрації ключового компонента, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт неоднорідності яких може бути визначено за формулами (2.1)-(2.34).

Мінімально допустима вага проби визначається за формулою:

$$G_M = \frac{10^4 \pi d^3 \rho}{6(c_0 + 0,45)} = \frac{3,61 \cdot 10^3 d^3 \rho}{c_0}. \quad (2.4)$$

Встановлена мінімальна маса проби склала 30 г, число проб в кожній зоні $n_{\text{зр}}=9$.

Після фіксованого часу включалася установка і відбиралися проби спеціальним пробовідбірником. Зважування проводилось на електронних вагах.

Ступінь однорідності визначається на основних трьох ідентифікованих по часу дослідях.

2.3 Математична модель процесу змішування при подрібненні компонентів комбікормів у подрібнювачі-змішувачі

При побудові математичної моделі процесу змішування компонентів комбікормів при їх одночасному подрібненні виходимо із стохастико-детермінованої природи цього процесу [6]. З одного боку, на процес змішування суттєво впливають конструктивно-технологічні параметри подрібнювача-змішувача, які визначають упорядковане перенесення повітряно-

продуктового шару. З іншого боку, досить якісне змішування сипких матеріалів у робочій камері подрібнювача-змішувача не може бути описано з урахуванням лише упорядкованого руху дисперсної фази.

Безпосереднє моделювання змішування матеріалів при їх одночасному подрібненні в стиснених вихрових потоках з урахуванням перерахованих вище факторів є скрутним через надзвичайну складність явища. Тому цілком доречно використання «фіктивних» імовірнісних моделей, що відображають найбільш суттєві особливості процесу і в певному сенсі імітують його.

Ідеальну суміш можна визначити як суміш, для якої ймовірність присутності будь-якого компонента у будь-якій точці її обсягу залишається постійною. У мікрооб'ємах компонентів, що перемішуються, можливе безліч взаємного розташування частинок. В таких умовах їх співвідношення у довільних точках суміші – величина випадкова. Саме тому сучасними вважаються методи оцінки якості сумішей з урахуванням статистичного аналізу [8, 9].

Процес змішування компонентів A і B та утворення двокомпонентної суміші можна представити у вигляді $A+B \rightarrow AB$ (суміш), в яких з двох еквівалентних об'єднань частинок A і B утворюється найменший можливий асоціат суміші AB (рис. 2.4). При рівності числа частинок двох сортів у суміші

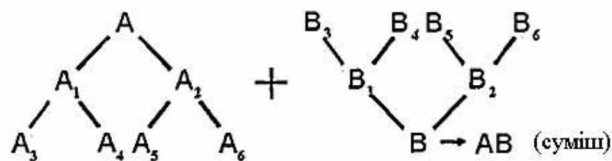


Рисунок 2.4 – Схема процесу змішування при одночасному подрібненні компонентів суміші

в об'єднанні A і в об'єднанні B міститься по одній частинці, при нерівній кількості змішуваних частинок в суміші A і B входить відповідне число частинок, але їх сума представляє найменшу кількість частинок сортів A і B , на яких можна утворити асоціат суміші AB . Наявність у схемі гілки B_1, B_2, \dots, B_i

A_1, A_2, \dots, A_i вказує на те, що будь-яка частка суміші одночасно піддається подрібненню.

Для побудови математичної моделі процесу змішування суміші компонентів комбікормів при їхньому одночасному подрібненні скористаємося системою диференціальних рівнянь зміни концентрації компонентів суміші в часі, запропонованих акад. В.В. Кафаровим, отриманих на основі теорії марківських процесів [1, 11, 19]:

$$\frac{d(c_A - m_A)}{dt} = -ke^{\gamma t} [(c_A - m_A)^2 - D_A] \quad (2.5)$$

$$\frac{d(c_B - m_B)}{dt} = -ke^{\gamma t} [(c_B - m_B)^2 - D_B], \quad (2.6)$$

де k - константа зміни швидкості процесу змішування;

c_A, c_B - відносні концентрації компонентів A і B ;

m_A, m_B - математичні очікування концентрацій компонентів A і B , що відповідають рецептурному значенню концентрації компонента в суміші;

D_A, D_B - дисперсії, що характеризують незавершеність процесу змішування;

γ - параметр, що характеризує швидкість подрібнення частинок компоненту.

Рівняння (2.5) та (2.6) характеризують зміну концентрацій компонентів A та B у робочому обсязі подрібнювача-змішувача. Однак у промисловій практиці оцінка стану суміші проводиться за вибіркою з певної кількості проб, а суміш використовується у вигляді окремих порцій для приготування кормів. Тому запишемо рівняння для одного з компонентів при вибірці з nl проб, взятих в n довільно обраних точках в обсязі подрібнювача-змішувача при l паралельних випробуваннях у кожній точці, і отримаємо систему рівнянь:

$$\frac{d(c_{ij} - m_{ij})}{dt} = -ke^{\gamma t} [(c_{ij} - m_{ij})^2 - D_{ij}]; \quad i=1,2,\dots,n; \quad j=1,2,\dots,l \quad (2.7)$$

Перейдемо від концентрації до вибіркової дисперсії, якою оцінюємо якість суміші. Вважаємо, що у кожній виділеній точці під час її руху всередині робочої камери процес перерозподілу здійснюється з однаковою інтенсивністю.

Тоді підсумуємо систему рівнянь (2.7) по n точках і l випробуванням та отримане рівняння розділимо на nl , тоді:

$$\frac{1}{nl} \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (c_{ij} - m) = -\frac{k}{nl} e^{yt} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l [(c_{ij} - m)^2 - D_{ij}] \quad (2.8)$$

Дисперсію D_{ij} , що уповільнює процес змішування, назвемо дисперсією сегрегації. Позначимо вираз $\frac{1}{nl} \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l D_{ij}$ величиною σ_c^2 , де σ_c^2 середня дисперсія сегрегації процесу. Провівши перетворення рівнянь (2,7) та (2.8) отримаємо:

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l (c_{ij} - m) \right]^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l [(c_{ij} - m)^2] = nl\sigma^2 \quad (2.9)$$

де σ^2 – вибіркова дисперсія концентрації компонента в суміші.

Після перетворення рівняння (2.8) прийме вид:

$$\frac{d\sqrt{\sigma^2}}{dt} = -k\sqrt{nl} e^{yt} (\sigma^2 - \sigma_c^2), \quad (2.10)$$

де k - коефіцієнт, що визначає константу швидкості змішування.

На рисунку 2.5 наведено кінетичну криву процесу змішування, що характеризує зміну дисперсії концентрації σ^2 у часі. При досить великих значеннях часу t досягається гранична якість суміші σ_p^2 . У такому стані число утворених і тих, розпадаються асоціатів суміші AB вирівнюється і настає динамічна рівновага.

Вважаємо, що процесу сегрегації відповідає інша крива і що між дисперсією процесу розподілу та сегрегацією є лінійний зв'язок, що визначається співвідношенням:

$$\sigma_n^2 - \sigma^2 = \lambda(\sigma_c - \sigma_{nc}), \quad (2.10)$$

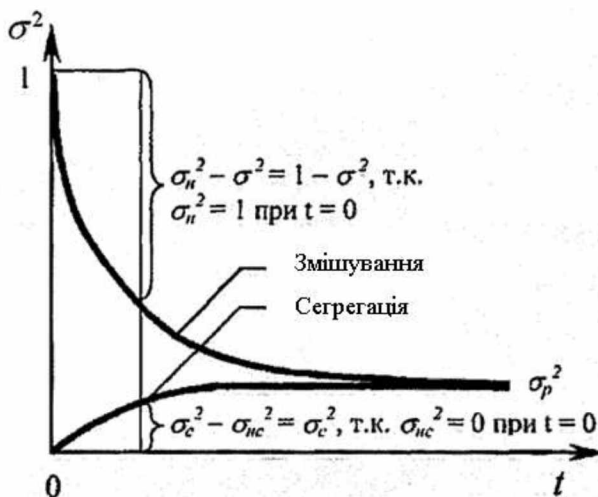


Рисунок 2.5 – Кінетичні криві для процесів змішування та сегрегації

де σ_n^2 – початкова дисперсія концентрації компонента при $t = 0$;

λ - коефіцієнт пропорційності;

σ_{nc}^2 - початкова дисперсія сегрегації.

У практиці дослідження процесів змішування зазвичай використовують дисперсії, промасштабовані через σ_n^2 , які розраховуються за співвідношенням:

$$\sigma_n^2 = c \cdot (1 - c), \quad (2.11)$$

де c – концентрація компонента.

В цьому випадку при $t \rightarrow 0$ $\sigma_n^2 = 1$, $\sigma_{nc}^2 = 0$, а при $t \rightarrow \infty$ $\sigma^2 = \sigma_c^2 = \sigma_p^2$.

Тоді з рівняння (2.10) знайдемо при $t = 0$

$$\sigma_c^2 = (1 - \sigma^2) / \lambda, \quad (2.12)$$

а при $t \rightarrow \infty$

$$\lambda = (1 - \sigma_p^2) / \sigma_p^2 \quad (2.13)$$

З урахуванням рівняння (2.13) рівняння (2.10) приводиться до виду:

$$\frac{d\sqrt{\sigma^2}}{dt} = k\sqrt{nl} \exp(\gamma t) \left(\frac{1 - (\lambda + 1) \cdot \sigma^2}{\lambda} \right) \quad (2.14)$$

Після поділу змінних маємо:

$$\frac{d\sigma^2}{\sqrt{\sigma^2} [1 - (\lambda + 1) \cdot \sigma^2]} = \frac{2k\sqrt{nl}}{\lambda} \exp(\gamma t) dt \quad (2.15)$$

Інтегруючи рівняння (2.15) отримаємо:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda+1}} \ln \left[\frac{1+\sqrt{\lambda+1}\sqrt{\sigma^2}}{1-\sqrt{\lambda+1}\sqrt{\sigma^2}} \right] = \frac{2k\sqrt{nl}}{\lambda} \frac{1}{\gamma} \exp(\gamma t) + \ln C \quad (2.16)$$

Визначаємо постійну інтегрування C із початкової умови $t \rightarrow 0, \sigma^2=1$:

$$\ln C = \frac{1}{\sqrt{\lambda+1}} \ln \left[\frac{1+\sqrt{\lambda+1}}{1-\sqrt{\lambda+1}} \right] - \frac{2k\sqrt{nl}}{\lambda} \frac{1}{\gamma} \quad (2.17)$$

З урахуванням рівняння (2.17) рівняння (2.16) матиме вид:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda+1}} \ln \left[\frac{1+\sqrt{\lambda+1}\sqrt{\sigma^2}}{1-\sqrt{\lambda+1}\sqrt{\sigma^2}} \right] - \frac{1}{\sqrt{\lambda+1}} \ln \left[\frac{1+\sqrt{\lambda+1}}{1-\sqrt{\lambda+1}} \right] = \frac{2k\sqrt{nl}}{\lambda} \frac{1}{\gamma} \exp(\gamma t) - \frac{2k\sqrt{nl}}{\lambda} \quad (2.18)$$

або

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda+1}} \ln \frac{1-\sqrt{\lambda+1}\sqrt{\sigma^2}}{1+\sqrt{\lambda+1}\sqrt{\sigma^2}} \frac{1+\sqrt{\lambda+1}}{1-\sqrt{\lambda+1}} = -\frac{2k\sqrt{nl}}{\lambda} \frac{1}{\gamma} (\exp(\gamma t) - 1) \quad (2.19)$$

Після підстановки виразу (2.13) у рівняння (2.19) отримаємо:

$$\ln \left[\frac{\sqrt{\sigma_p^2 - \sigma^2} \sqrt{\sigma_p^2 + 1}}{\sqrt{\sigma_p^2 + \sigma^2} \sqrt{\sigma_p^2 - 1}} \right] = -\frac{2k\sqrt{nl} \sqrt{\sigma_p^2}}{1 - \sigma_p^2} \frac{1}{\gamma} (\exp(\gamma t) - 1) \quad (2.20)$$

або

$$\exp \left[-\frac{2k\sqrt{nl} \sqrt{\sigma_p^2}}{1 - \sigma_p^2} \frac{1}{\gamma} (\exp(\gamma t) - 1) \right] = \frac{\sqrt{\sigma_p^2 - \sigma^2} \sqrt{\sigma_p^2 + 1}}{\sqrt{\sigma_p^2 + \sigma^2} \sqrt{\sigma_p^2 - 1}} \quad (2.21)$$

Вирішив рівняння (2.21) відносно σ^2 , отримаємо рівняння процесу змішування при одночасному подрібненні компонентів у вигляді:

$$\sigma^2 = \sigma_p^2 \cdot \frac{\left((\sqrt{\sigma_p^2 + 1}) - (\sqrt{\sigma_p^2 - 1}) \cdot \exp \left[-\frac{1}{\gamma} \frac{2k\sqrt{nl} \sqrt{\sigma_p^2}}{1 - \sigma_p^2} (\exp(\gamma t) - 1) \right] \right)^2}{\left((\sqrt{\sigma_p^2 + 1}) + (\sqrt{\sigma_p^2 - 1}) \cdot \exp \left[-\frac{1}{\gamma} \frac{2k\sqrt{nl} \sqrt{\sigma_p^2}}{1 - \sigma_p^2} (\exp(\gamma t) - 1) \right] \right)^2} \quad (2.22)$$

На основі виразу (2.22), але з урахуванням того, що критерієм оцінки якості суміші прийнята неоднорідність змішування, після відповідного перетворення отримаємо математичну залежність для визначення якості змішування при подрібненні компонентів у робочій камері подрібнювача-змішувача (2.23) з початковими умовами $t \rightarrow 0, v = 1, t = \infty, v = v_p$,

де v – неоднорідність суміші;

v_p – гранична неоднорідність, при якій досягається кінцева якість суміші;

n – кількість точок відбору проб;

l – кількість проб у кожній із n точок;

t – час змішування;

γ – параметр, який характеризує інтенсивність процесу подрібнення компонентів суміші;

k – коефіцієнт, який характеризує інтенсивність процесу змішування компонентів суміші.

$$v = v_p \cdot \frac{\left((v_p + 1) - (v_p - 1) \cdot \exp\left(-\frac{1}{\gamma} \frac{2k\sqrt{nl}}{1-v_p^2} v_p \right) (e^{\gamma t} - 1) \right)}{\left((v_p + 1) + (v_p - 1) \cdot \exp\left(-\frac{1}{\gamma} \frac{2k\sqrt{nl}}{1-v_p^2} v_p \right) (e^{\gamma t} - 1) \right)} \quad (2.23)$$

Основними параметрами в рівнянні (2.23) є параметри k , γ та v_p , які залежать від режиму роботи та конструктивних особливостей подрібнювача-змішувача і визначаються експериментально на етапі ідентифікації параметрів та перевірки адекватності математичної моделі.

Висновки. Розроблена лабораторна модель експериментальної установки. Розроблена математична модель процесу змішування при подрібненні компонентів комбікормів у подрібнювачі-змішувачі. Наведені методики експериментальних досліджень.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Дослідження впливу конструктивних параметрів подрібнювача-змішувача на процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів

Для встановлення раціональної схеми встановлення робочих органів на валу подрібнювально-змішувальної машини були обрані кілька варіантів схем установки конструкцій знімних робочих органів з кількістю лопатей 2, 4, 6 штук, прямокутної та трапецієподібної формами лопатей з кутом нахилу профілю відповідно 45° та 90° (рис. 3.1-3.2). Основні конструктивні параметри робочих органів представлені у таблицях 3.1-3.2.



Рисунки 3.1 – Конструкція робочих органів лабораторної дробарки з прямокутною формою лопатей та кутом нахилу профілю 45°



Рисунки 3.2 – Конструкція робочих органів лабораторної дробарки з трапецієподібною формою лопатей та кутом нахилу профілю 90°

Таблиця 3.1 – Конструктивні параметри робочих органів з прямокутною формою лопатей

Кількість лопатей	Розміри, мм			Кут нахилу, град	Площа робочого органу, мм ²
	діаметр кінця лопаті	товщина лопаті	висота лопаті		
2	Ø190	5	20	45°	2660
4	Ø190	5	20	45°	5320
6	Ø190	5	20	45°	7980

Таблиця 3.2 – Конструктивні параметри робочих органів з трапецієподібною формою лопатей

Кількість лопатей	Розміри, мм				Кут нахилу, град	Площа робочого органу, мм ²
	діаметр кінця лопаті	товщина лопаті	висота початку лопаті, h_{Π}	висота кінця лопаті, h_{κ}		
2	Ø190	5	20	8	90°	3800
4	Ø190	5	20	8	90°	7600
6	Ø190	5	20	8	90°	11400

Дослідження впливу конструктивних параметрів експериментального лабораторного подрібнювача-змішувача на процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів проводилися наступним чином. На валу ротора кріпилися 2 парусно розташованих знімних робочих органи різної конструкції при різних схемах їх встановлення в робочій камері подрібнювача-змішувача (табл. А1 додатку А). Зазор між нижньою частиною нижнього робочого органу і днищем фіксувався і дорівнював 3 мм, зазор між торцем робочих органів та 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 відношенні 1:50 по черзі висипалися вихідні компоненти – ячмінь та хлорид натрію.

Маса порції компонентів, що завантажувалися, становила 1,5 кг. Кутова швидкість обертання ротора в процесі експерименту не змінювалася і дорівнювала 350рад/с. Результати досліджень наведено у таблиці А1 додатку А.

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

3.2 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 і енергетичних показників у досліджуваному лабораторному подрібнювачі-змішувачі вертикального типу.

Як вихідний матеріал використовувалося зерно ячменю з середньозваженим розміром частинок $d_{\text{ср}} = 3,87$ мм та 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 з вивчення процесу подрібнення дані параметри залишалися незмінними.

При дослідженнях визначали гранулометричний склад вихідного та подрібненого продукту. Відбір проб проводили згідно з ГОСТ 13586.3-2015 «Зерно. Правила приемки та способа отбора проб».

Попередні дослідження підтвердили висновки вчених [17,21,22 та ін.], 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 її кількості вплив лопатей на окрему частинку матеріалу буде утруднено. Тому в дослідях по визначенню основних раціональних параметрів роботи машини, що дають необхідну якість змішування і ступінь подрібнення при найменших витратах часу і енергоресурсів, необхідно знаходити оптимальні порції подрібнюваного продукту. 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 рисунках 3.3 та 3.4 представлені залежності зміни середньозваженого розміру частинок та ступеня подрібнення ячменю від часу циклу роботи установки, при різній величині 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.

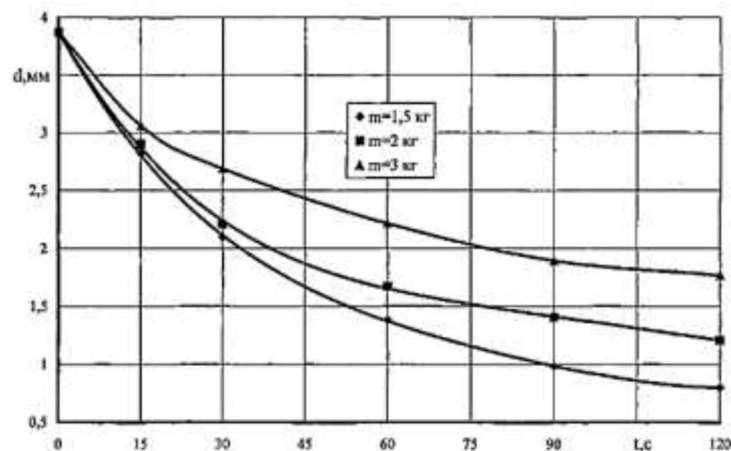


Рисунок 3.3 – Залежність зміни середньозваженого розміру частинок від часу циклу роботи установки при різній величині завантаження подрібнювача-змішувача

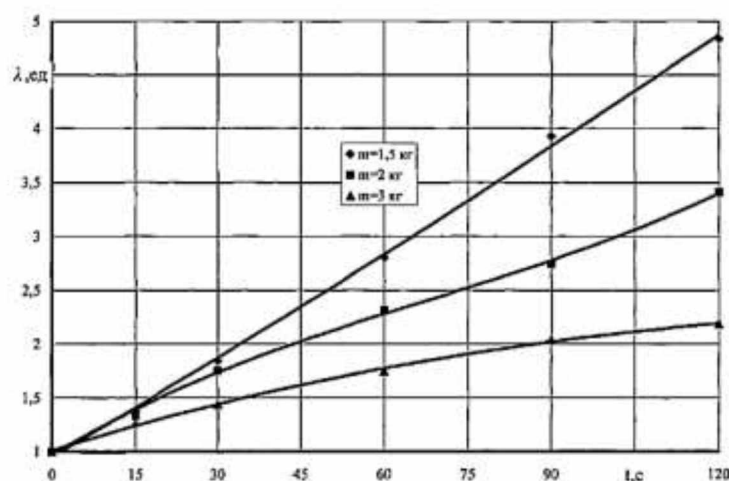


Рисунок 3.4 – Зміни ступеня подрібнення від часу циклу роботи установки при різній величині завантаження подрібнювача-змішувача

Як видно з отриманих даних, представлених на рисунку 3.3, 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 подрібнювача-змішувача, тим більше розмір одержуваного продукту і, навпаки, чим більший час циклу роботи установки, при одній і тій же величині завантаження, тим менше розмір продукту.

З залежностей, наведених на рисунку 3.4, видно, що криві залежності ступеня подрібнення від часу циклу роботи установки при різній величині завантаження подрібнювача-змішувача мають майже лінійний характер. При збільшенні завантаження кут нахилу кривих зменшується. Це пояснюється зменшенням ступеня впливу робочих органів на окрему частинку із збільшенням маси порції. Найбільш близько до прямопропорційної залежності має крива, що відповідає масі порції $m_n=2$ кг, що, ймовірно, відповідає оптимальному завантаженню та найбільш рівномірному характеру протікання процесу.

На рисунках 3.5 та 3.6 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 подрібнюваного продукту становила 2 кг.

Як видно із залежностей, представлених на рисунку 3.5, характер зміни середньозваженого розміру частинок із збільшенням часу циклу аналогічний характеру кривих, представлених на рисунку 3.3.

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

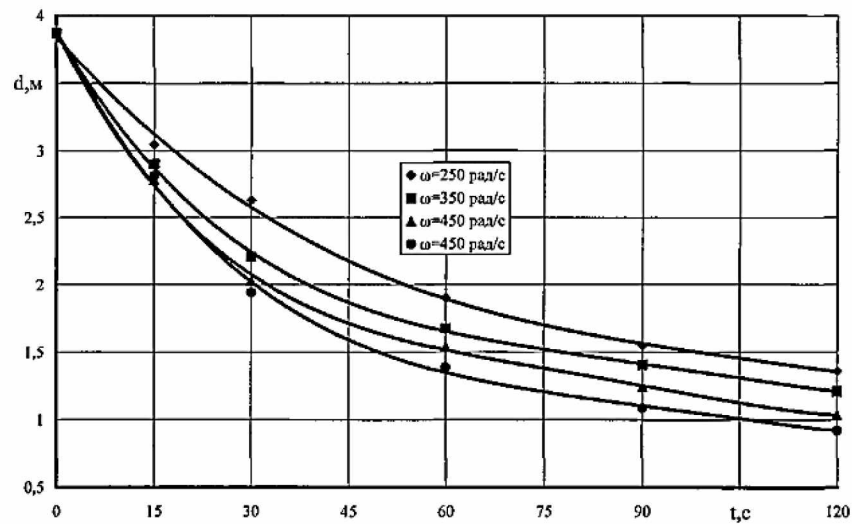


Рисунок 3.5 – Залежність зміни середньозваженого розміру частинок від часу циклу роботи установки при різній кутовій швидкості обертання ротора подрібнювача-змішувача

Зміни ступеня подрібнення від часу циклу роботи подрібнювача-змішувача, показані на рисунку 3.6, досить достовірно можуть бути апроксимовані лінійними залежностями, при цьому зі збільшенням швидкості обертання кут нахилу прямих збільшується, тобто відбувається збільшення ступеня подрібнення продукту (зменшення його крупності).

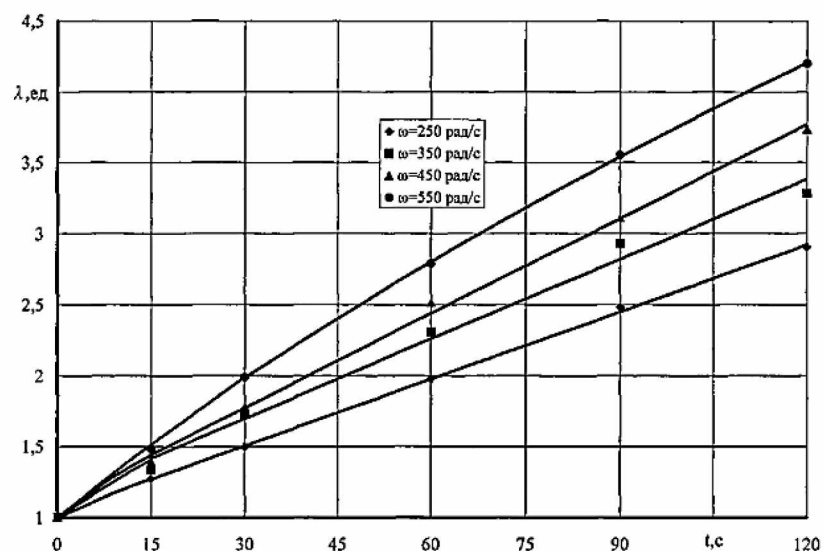


Рисунок 3.6 – Залежність зміни ступеня подрібнення від часу циклу роботи установки при різній кутовій швидкості обертання ротора подрібнювача-змішувача

Аналіз залежності процесу подрібнення для інших конструкцій робочих органів і схем їх встановлення в подрібнювальній машині має ідентичну тенденцію як і на представлених графіках 3.3-3.6.

Енергоємність процесу подрібнення є найважливішим показником, що характеризує досконалість конструкції подрібнювача-змішувача, і залежить від обраних режимних і конструктивних параметрів процесу. Від швидкості робочих органів залежать витрати енергії на процеси подрібнення і 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 рисунку 3.7 подано залежності витрат електроенергії на привід подрібнювача-змішувача в режимі холостого ходу.

З представлених графіків видно, що з збільшенням кутової швидкості обертання ротора подрібнювача-змішувача витрати електроенергії на холостий хід зростають та перебувають у прямій залежності.

На рисунку 3.8 представлені залежності величини витрати корисної потужності від швидкості обертання робочих органів подрібнювача - змішувача при різній теоретичній 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.

З графіка рисунку 3.8 видно, що показник ступеня тим вищий, чим більше теоретична продуктивність машини. Це пояснюється великим значенням витрат енергії при збільшенні маси порції продукту, що завантажується в робочу камеру подрібнювача-змішувача. Збільшення витрати енергії на процес зі збільшенням кутової швидкості обертання ротора пов'язано зі змінами кінетичного режиму, а значить, і кількістю енергії, що витрачається на процеси, що відбуваються в робочій камері подрібнювача-змішувача.

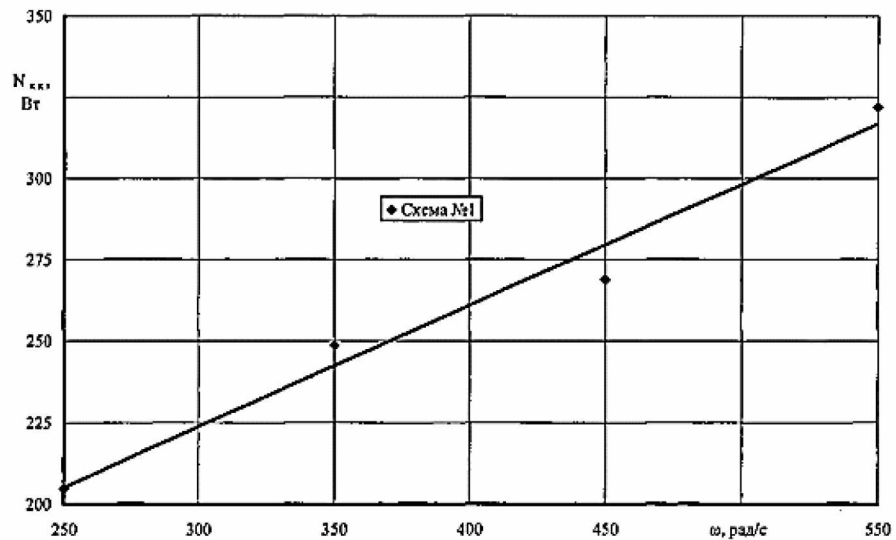


Рисунок 3.7 – Витрати енергії на холостий хід роботи подрібнювача-змішувача

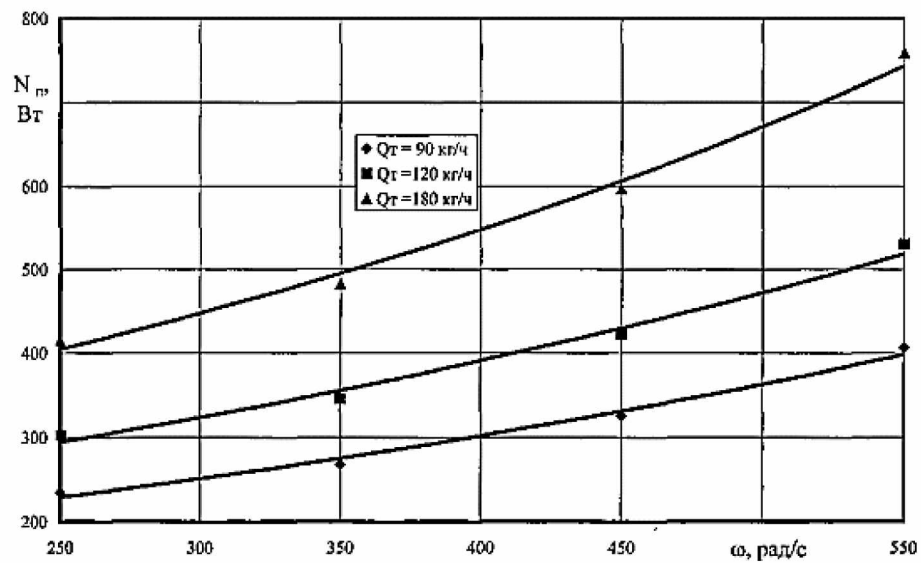


Рисунок 3.8 – Зміни витрати корисної потужності від кутової швидкості обертання ротора при різній теоретичній продуктивності подрібнювача-змішувача

Характер зміни питомих витрат електроенергії від середньозваженого розміру частинок продукту, що подрібнюється, при різній теоретичній продуктивності машини представлено на рисунку 3.9.

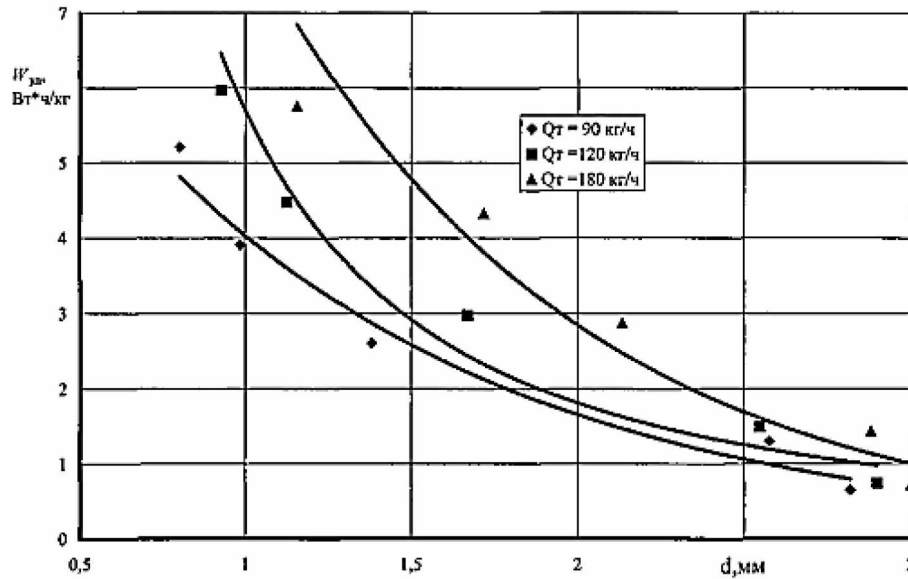


Рисунок 3.9 – Зміни питомих витрат енергії подрібнювача-змішувача в залежності від отриманої крупності продукту при різних теоретичній продуктивності

Залежність показує, що із зменшенням крупності, витрати енергії збільшуються, це пояснюється тим, що для отримання дрібнішого продукту необхідна більша кількість енергії. Інтенсивність зниження енерговитрат зростає при збільшенні продуктивності подрібнювача-змішувача, це пояснюється збільшенням частки корисної міцності, що витрачається на процес.

На рисунку 3.10 представлені залежності зміни питомої енергоємності процесу від кутової швидкості обертання ротора при різних величині завантаження подрібнювача-змішувача.

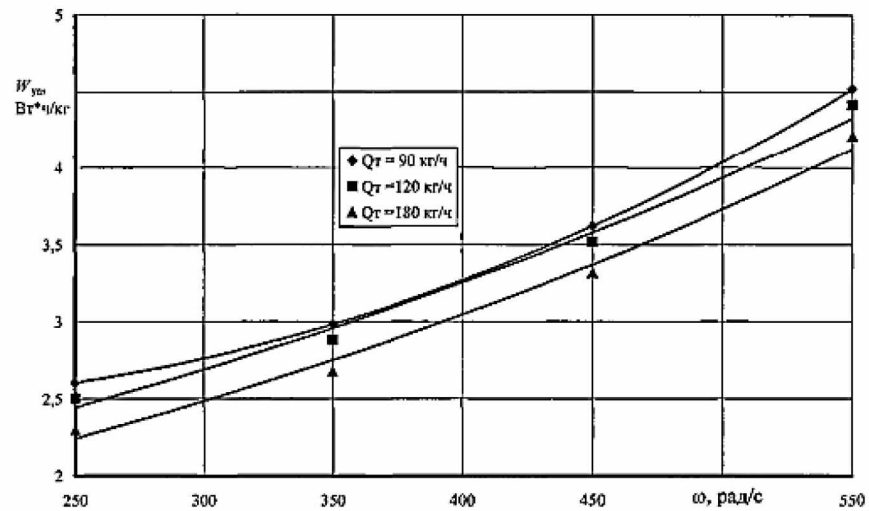


Рисунок 3.10 – Залежність зміни питомої енергоємності від кутової швидкості обертання ротора при різній продуктивності подрібнювача-змішувача

З залежності видно, що із зростанням кутової швидкості обертання ротора енергоємність процесу збільшується, що можна пояснити збільшенням кількості енергії, яка витрачається на процеси подрібнення і змішування, що відбуваються в робочій камері подрібнювача-змішувача.

3.3 Вплив режимів роботи подрібнювача-змішувача на ефективність процесу змішування

Розроблену конструкцію подрібнювально-змішувальної машини відрізняє ряд характерних ознак, основними з яких є такі як: суттєві радіальні градієнти швидкості та дотичних напруг, що створюють високу турбулентність потоку і сприяють інтенсивному змішуванню інгредієнтів суміші компонентів комбікормів; відносно висока лінійна швидкість руху потоку у внутрішньому просторі робочої камери, що досягає кілька десятків метрів на секунду; безперервність процесу змішування матеріалів; велика кількість енергії, яка витрачається на процес подрібнення, який протікає одночасно.

При визначенні раціональних робочих параметрів подрібнювача-змішувача і характеру їх впливу на якість одержуваних сумішей комбікормів

необхідно вивчити перебіг процесу змішування в робочій камері розробленої машини, тобто. зміна ступеня однорідності (коефіцієнта неоднорідності) зі збільшенням тривалості знаходження продукту робочої камері, при зміні різних чинників, які впливають процес.

Вивчення якості змішування проводили з застосуванням суміші компонентів, що використовується для приготування повнораціонних комбікормів для ВРХ. Ця суміш складалася з ячменю - 45,22%, пшениці - 22%. висівок пшеничних - 27,3%; вівса - 4%; сіль - 0,5; зерноsumіш - 1%.

Для вибору найбільш раціональних режимів процесу змішування при подрібненні компонентів комбікормів були проведені експерименти щодо виявлення залежностей зміни коефіцієнта неоднорідності суміші від часу циклу роботи установки при різній кутовій швидкості обертання ротора та різній величині завантаження подрібнювача-змішувача. Маса порції компонентів, що завантажуються, становила 1,5; 2 і 3 кг, час циклу роботи установки 0 -120 с.

Отримані залежності зміни неоднорідності суміші від часу циклу роботи установки (тривалості знаходження продукту в робочій камері) при різній величині завантаження подрібнювача-змішувача представлені на рисунку 3.11.

Аналіз отриманих залежностей показує, що зміна процесу змішування з часом має нерівномірний характер. Як видно з отриманих залежностей на рисунку 3.11, ступінь змішування носить нерівномірний характер: в перші секунди процес змішування протікає інтенсивно, в основному, за рахунок конвективного змішування, потім неоднорідність суміші з часом уповільнюється. Це пов'язано, скоріше всього з інтенсивністю процесу подрібнення компонентів комбікорму, в результаті якого частинки подрібнюються до певної крупності, і як видно з залежності, представленої на рисунку 3.3, подальша зміна коефіцієнта неоднорідності відбувається в основному за рахунок дифузійного змішування і менш інтенсивно. Зі зростанням величини завантаження подрібнювача-змішувача відбувається збільшення значення коефіцієнта неоднорідності ν , так як суміш менш якісно перемішується.

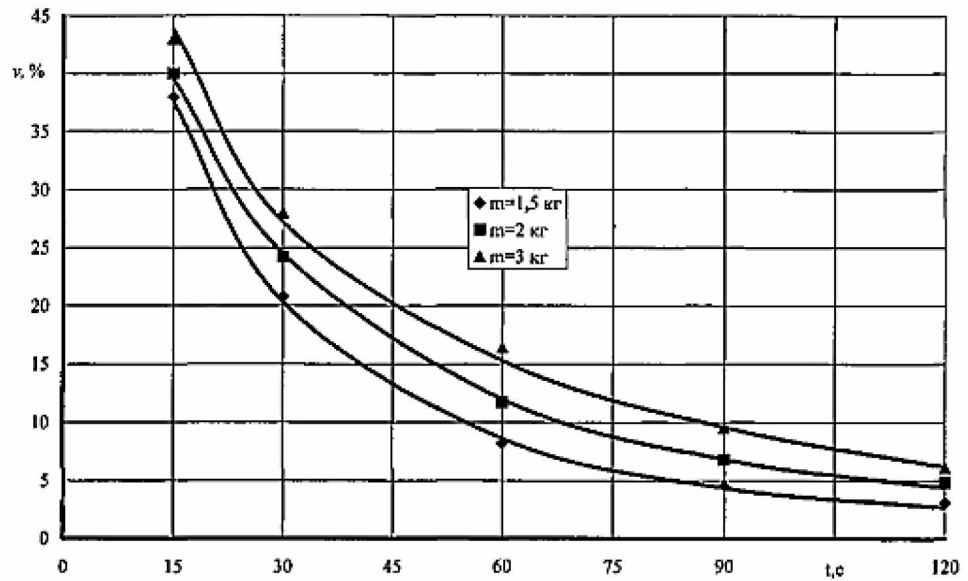


Рисунок 3.11 – Залежність змін коефіцієнта неоднорідності суміші компонентів від часу циклу роботи установки при різній величині завантаження подрібнювача-змішувача

Одним із важливих факторів, що впливають на інтенсивність процесу змішування, є зміна кутової швидкості обертання ротора подрібнювача-змішувача. Для вивчення зміни режимів параметрів процесу змішування з одночасним подрібненням компонентів комбікормів, при різних кутових швидкостях обертання ротора подрібнювача-змішувача, були проведені експериментальні дослідження, результати яких представлені на рисунку 3.12. Швидкість обертання ротора варіювалася від 250 до 550 рад/с, час подрібнення-змішування від 0 до 120с. Маса порції компонентів, що завантажувалися, становила 2 кг.

В результаті проведених експериментів виявлено, що при збільшенні кутової швидкості обертання робочих органів подрібнювача-змішувача і, отже, окружної швидкості обертання, відбувається збільшення рівномірності розподілу контрольного компонента одержуваної суміші, продукт виходить одноріднішим за меншу кількість часу. Це можна пояснити збільшенням інтенсивності руху частинок суміші, їх циркуляцією за об'ємом робочої камери, збільшенням кількості впливу робочих органів подрібнювача-змішувача.

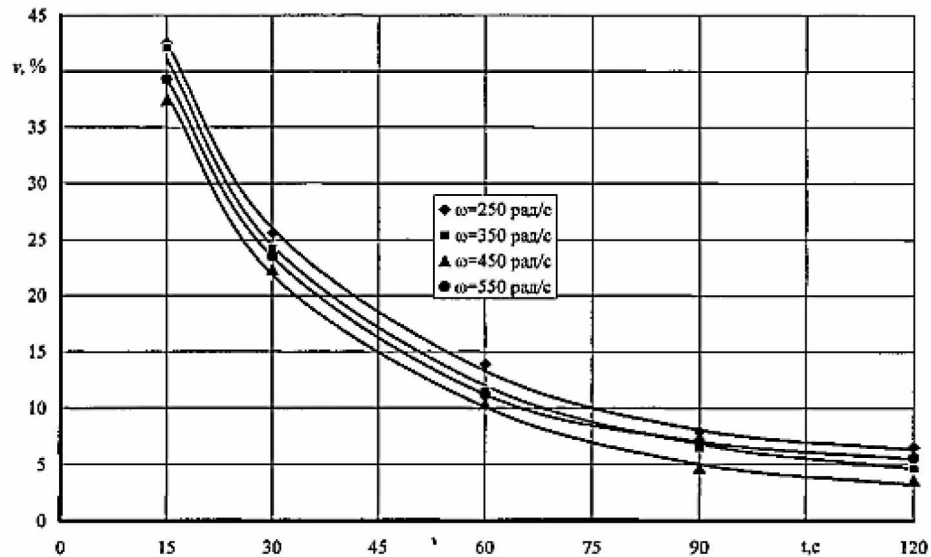


Рисунок 3.12 – Залежність коефіцієнта неоднорідності суміші компонентів комбікормів від часу циклу роботи установки при різній кутовій швидкості обертання ротора

машини на компоненти, що подрібнюються і змішуються в одиницю часу, в результаті чого відбувається більш інтенсивний рух частинок продукту відносно один одного і корпусу машини (рис. 3.12).

З представлених залежностей видно, що процес змішування при одночасному подрібненні протікає найбільш інтенсивно при збільшенні кутової швидкості обертання ротора подрібнювача-змішувача і, отже, лінійної швидкості руху частинок компонентів комбікорму. В цілому процес змішування при одночасному подрібненні комбікормів протікає стохастично, тому для опису закономірностей доцільним є застосування імовірнісних моделей, одним з прикладів яких є модель змішування компонентів комбікормів при їх одночасному подрібненні (підрозділ 2.5), що дозволяє виявити закономірності процесів змішування та подрібнення та їх взаємозв'язок між собою.

Комбікорми та премікси представляють собою суміші компонентів, що входять у різних кількостях.

Щоб з'ясувати, як впливає вагове співвідношення компонентів на однорідність змішування, були проведені дослідження при наступних концентраціях контрольного компонента (хлориду натрію): 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0%. Час циклу роботи установки становив 120 с. Теоретична продуктивність становила 45, 60 та 120 кг/год. Такі параметри, як вологість та порядок завантаження, прийняті постійними. Результати наведено на рисунку 3.13.

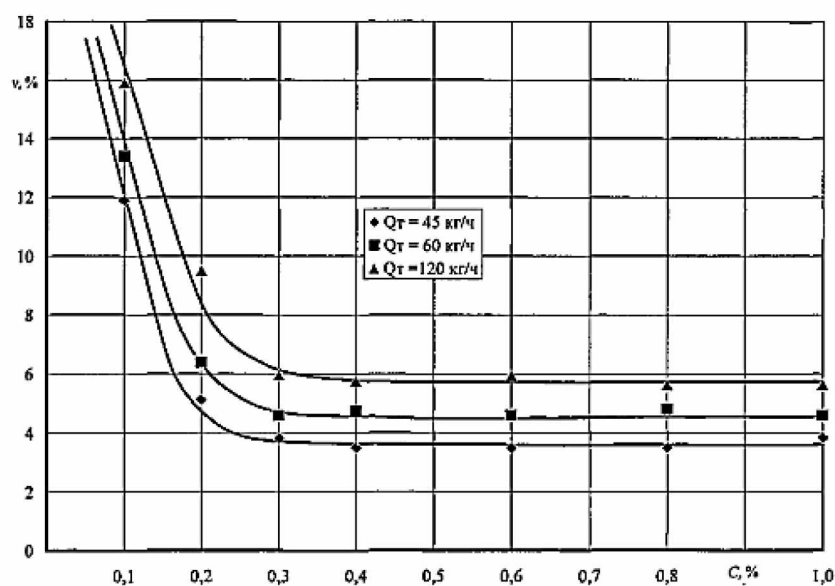


Рисунок 3.13 – Залежність коефіцієнта неоднорідності розподілу контрольного компонента від його концентрації, при різній теоретичній продуктивності подрібнювача-змішувача

Отримана залежність свідчить про те, що концентрація компонентів до певної межі впливає на якість суміші. Таким чином, при концентраціях компонента в суміші вище 0,1% суміш буде більш однорідною, що достатньо для отримання комбікорму стандартної якості. Для отримання однорідного розподілу в суміші компонентів з концентрацією менше 0,1-0,2% необхідно застосовувати додаткове змішування компонентів у додатково встановленому змішувачі.

Вологість значно впливає на фізико-механічні властивості матеріалів. Відомо, що якість суміші досить сильно залежить від вмісту в її основному

компоненті рідини, особливо при сильній відмінності дисперсних складів вихідних матеріалів, збільшення вмісту вологи також надає певний вплив і на процес подрібнення компонентів комбікормів.

Тому, з метою більш детального вивчення цього факту, нами були проведені дослідження з вивчення впливу вологості основного компонента на процес змішування при одночасному подрібненні комбікорму в розробленому подрібнювачі-змішувачі.

При встановленні залежності якості суміші від вологості основного компонента як контрольний компонент використовували сіль кухонну вологістю 0,4%. Ступінь зволоження основного компонента, що показує відсоткове співвідношення обсягів вологи і матеріалу, що вноситься, змінювалася від 8, 10, 12, 14, 16 і 18 %. Кутова швидкість обертання ротора становила 350 рад/с. Час циклу роботи подрібнювача-змішувача складав 60 с. Теоретична продуктивність становила 90, 120 та 180 кг/год.

Залежність коефіцієнта варіації від вологості вхідних компонентів, за різної величини завантаження подрібнювача-змішувача, представлена на рисунку 3.14.

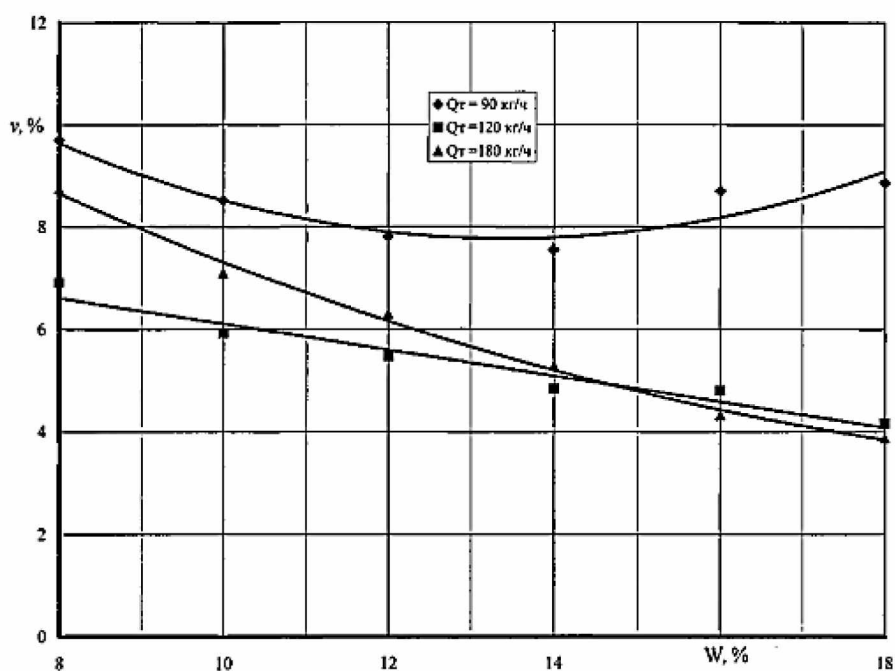


Рисунок 3.14 – Залежність коефіцієнта неоднорідності від вологості основного компонента суміші, при різній теоретичній продуктивності

Дослідження показали, що збільшення вологості основного компонента комбікорму сприяє незначному зниженню коефіцієнта неоднорідності суміші ν на 2-4%, тобто покращення її якості. Виняток становить суміш із значенням теоретичної продуктивності Q_T , зміна коефіцієнта неоднорідності якої незначно зменшується на 0,5-1%, що ймовірно пов'язано з неоднорідним поглинанням води та утворенням великих скупчень вологи в різних місцях робочого об'єму подрібнювача-змішувача.

Пояснення інших виявлених залежностей ймовірно в тому, що при підвищенні вологості продукту на поверхні частинок основного компонента з'являється плівка рідини. Поверхня стає більш гладкою і процес змішування погіршується.

Таким чином, підвищення вологості компонентів комбікорму позитивно впливає на розподіл вхідних в суміш компонентів, однак, наявність вологи в мікрокомпонентах погіршує рівномірність їхнього розподілу зі збільшенням продуктивності подрібнювача-змішувача.

З метою оцінки енергетичних характеристик процесу змішування в робочій камері пропонуваного подрібнювача-змішувача були проведені дослідження з вивчення закономірностей впливу якості змішування комбікорму на питомі енерговитрати, при різній теоретичній продуктивності розробленої конструкції (рис. 3.15).

Кутова швидкість обертання ротора становила 350 рад/с. Час циклу роботи машини становив 60 с. Теоретична продуктивність становила 45, 60 та 120 кг/год.

Аналіз отриманих результатів показує, що криві залежності енерговитрат при отриманні суміші комбікормів у проміжку зміни коефіцієнта неоднорідності ν від 9 % і вище питома енергоємність $W_{\text{пит}}$ зростає незначно і варіюється в межах 2-3 кВт-год/т. При отриманні комбікормів з якістю суміші (коефіцієнта неоднорідності ν) нижче 9%, зростання питомої енергоємності $W_{\text{пит}}$ відбувається інтенсивніше і становить в середньому від 3 до 5 кВт-год/т.

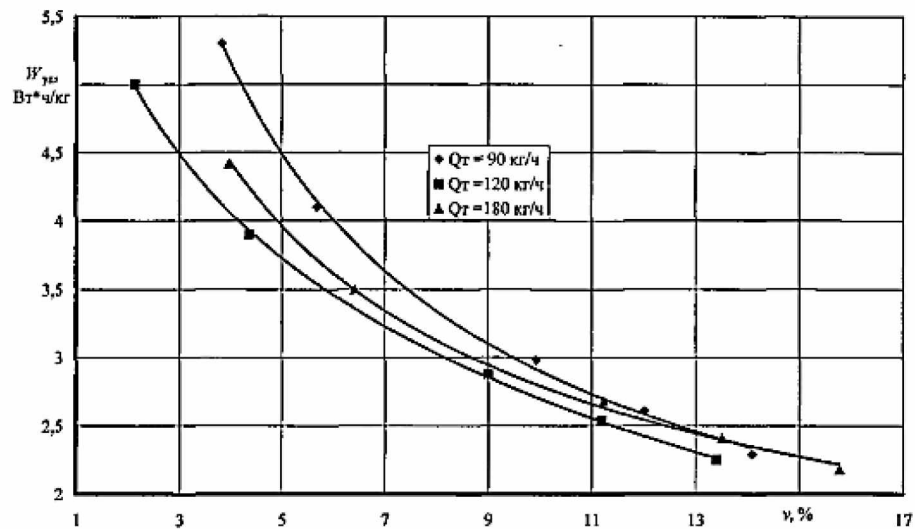


Рисунок 3-15 – Залежність питомої енергоємності від коефіцієнта неоднорідності при різній теоретичній продуктивності подрібнювача-змішувача

Судячи з даних досліджень, оптимальному значенню питомої енергоємності 2-4 кВт·год/т відповідає значення коефіцієнта неоднорідності суміші v у межах 5-15 %, що достатньо для отримання комбікорму стандартної якості. Різке збільшення витрати енергії на процес змішування можна пояснити одночасним процесом подрібнення (рис. 3.3-3.6), на який витрачається значна кількість енергії, при цьому процеси подрібнення і змішування знаходяться в прямій залежності від крупності одержуваного продукту.

3.4 Вплив параметрів роботи подрібнювача-змішувача на процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів

При подрібненні та змішуванні комбікормів продукт знаходиться в робочій камері подрібнювача-змішувача певний час, протягом якого він зазнає впливу робочих органів. Результат цього впливу - зміна розмірів частинок та просторовий перерозподіл компонентів суміші, тобто зміна ступеня подрібнення та ступеня змішування залежить від багатьох факторів. Спільний вплив всіх факторів зумовлює перебіг у робочій камері двох процесів подрібнення та змішування.

Для дослідження поведінки продукту з часом у робочій камері подрібнювально-змішувальної машини розглянемо сукупне протікання процесів подрібнення та змішування.

Вивчення процесів подрібнення та змішування в пропонованому подрібнювачі-змішувачі проводили з сумішшю для приготування повнораціонних комбикормів для ВРХ відповідно до ДСТУ 8530:2015 «Комбикорми для великої рогатої худоби». Ця суміш складалася з ячменю - 45,22%; пшениці - 22%; висівок пшеничних - 27,3%; вівса - 4%; солі - 0,5%; зерноsumіші - 1 %.

Результати дослідження процесів подрібнення та змішування, що одночасно протікають, залежно від часу циклу роботи за різної величини завантаження подрібнювача-змішувача представлені на рисунку 3.16.

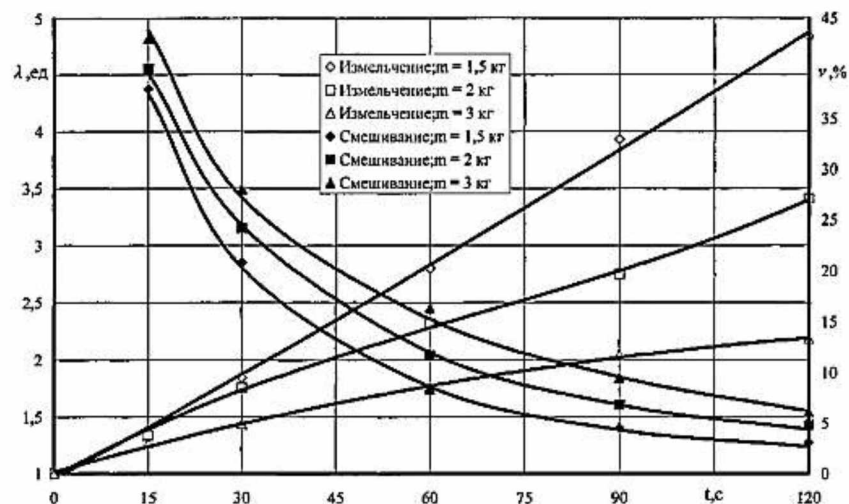


Рисунок 3.16 – Залежності зміни ступеня подрібнення λ_i та коефіцієнта неоднорідності v суміші компонентів комбикормів від часу циклу роботи при різній величині завантаження подрібнювача-змішувача

Маса порції завантажувальних компонентів і час перебігу процесів подрібнення та змішування залишалися незмінними і варіювалися від 1,5 до 3 кг і від 0 до 120с. відповідно. Кутова швидкість обертання ротора подрібнювача-змішувача становила 350 рад/с. Такі параметри як вологість та порядок завантаження прийняті постійними. Отримані залежності ступеня

подрібнення λ_i та коефіцієнта неоднорідності v_i представлені на рисунку 3.16 підтверджують висунуте припущення та аналітичні дослідження про об'єднання в робочій камері подрібнювача-змішувача двох процесів – подрібнення та змішування компонентів комбікормів.

Характер зміни представлених на рисунку 3.16 залежностей одночасно процесів подрібнення та змішування, що протікають одночасно, в лабораторній установці при подрібненні та змішуванні суміші компонентів комбікормів, що йдуть на приготування, ідентичний отриманим раніше залежностям розглянутих окремо процесів подрібнення та змішування при подрібненні ячменю та змішуванні чотирьохкомпонентної суміші, що йдуть на приготування комбікорму (див. рис. 3.3-3.6 та рис. 3.11-3.12).

З графіків видно, що зміни показників процесів подрібнення та змішування з часом мають різний характер: ступінь подрібнення з часом зростає практично лінійно, а ступінь змішування монотонно зменшується за експоненційною залежністю, що підтверджує аналітичні закономірності дослідження характеру зміни кінетики процесу змішування при одночасному подрібненні компонентів комбікормів. При цьому зі збільшенням маси компонентів, що завантажуються від 1,5 до 3 кг, відбувається погіршення показників процесу подрібнення – ступеня подрібнення λ_i та зменшення неоднорідності комбікорму (коефіцієнт неоднорідності v_i збільшується).

Для вивчення сукупної залежності процесів подрібнення та змішування при різних швидкостях обертання ротора подрібнювача-змішувача, при яких частота обертання ротора подрібнювача-змішувача змінювалася від 250 до 550 рад/с, час циклу роботи установки становив 60 с.

На рисунку 3.17 наведено залежності зміни ступеня подрібнення λ_i та коефіцієнта неоднорідності контрольного компонента досліджуваних сумішей v_i у робочій камері лабораторної установки.

В результаті проведених експериментів виявлено, що при збільшенні частоти обертання ротора, а отже і кругової швидкості обертання робочих органів в діапазоні від 25 до 55 м/с, відбувається одночасна зміна показників

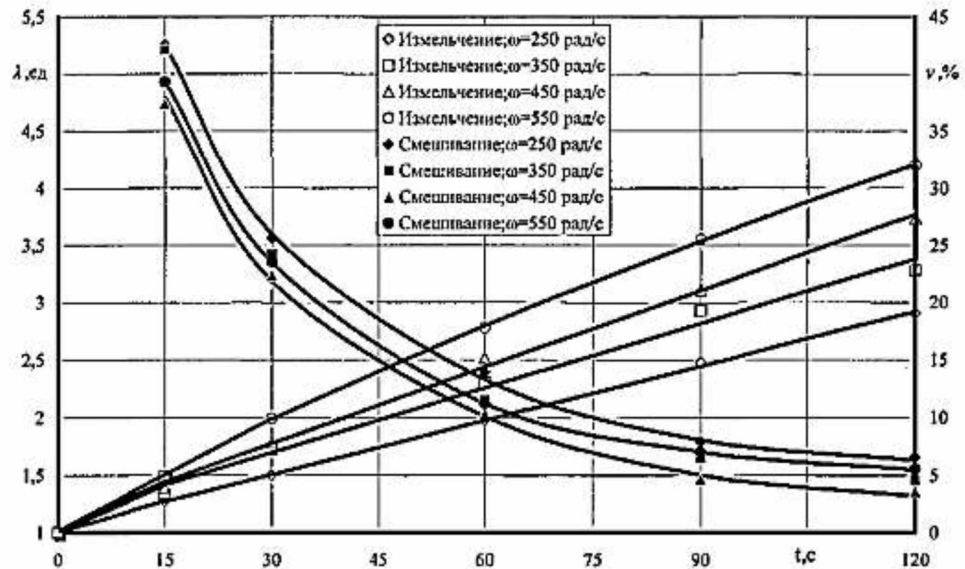


Рисунок 3.17 – Залежності зміни ступеня подрібнення λ та коефіцієнта неоднорідності ν суміші компонентів комбікормів від часу циклу роботи при різній частоті обертанні ротора подрібнювача-змішувача

подрібнення та змішування у часі: зменшення показника ступеня змішування (коефіцієнта неоднорідності ν) та збільшення ступеня подрібнення. При збільшенні частоти обертання ротора відбувається поліпшення показників якості подрібнення та змішування, це пояснюється збільшенням впливу робочих органів подрібнювача-змішувача на компоненти комбікормів в одиницю часу, відбувається більш інтенсивний рух частинок продукту щодо один до одного, і, отже, зменшенням коефіцієнта неоднорідності одержуваної суміші за рахунок інтенсивної дифузії частинок суміші. Але як показали попередні дослідження, при збільшенні частоти обертання ротора подрібнювача-змішувача зростає питома витрата енергії, що витрачається на процеси подрібнення та змішування.

З проведених досліджень спільної кінетики процесів подрібнення та змішування (рис. 3.16-3.17) в робочій камері подрібнювача-змішувача ударної дії вертикального типу існує взаємозв'язок зазначених процесів при їх одночасному перебігу.

3.5 Оптимізація процесу подрібнення та змішування компонентів комбікормів

Для виявлення взаємозв'язків між окремими факторами, що характеризують роботу подрібнювача-змішувача та для визначення оптимальних умов протікання процесу подрібнення та змішування, необхідно провести оптимізацію даного процесу використанням методу математичної теорії планування екстремальних експериментів.

Завдання оптимізації зводиться до наступного: знайти такі режими роботи подрібнювача-змішувача, які б у широкому діапазоні зміни вхідних параметрів становили мінімальні питомі енерговитрати при потрібній однорідності отриманої суміші та необхідної крупності частинок,

Рішення шукали графоаналітичним способом.

За рівняннями (3.1-3.3) були побудовані поверхні відгуку для різних поєднань варіювання факторів, розрахунки параметрів оптимізації наведені у **таблицях А2-А4 додатку А.**

Рівняння регресії:

для середньозваженого розміру частинок готового продукту:

$$d_{\text{ср}} = 1,14 - 0,21 x_1 + 0,17 x_2 - 0,93 x_3 - 0,22 x_4 - 0,1 x_1 x_2 + \\ + 0,04 x_2 x_3 - 0,07 x_1 x_3 + 0,06 x_1 x_4 - 0,07 x_2 x_4 - 0,07 x_1 x_2 x_4 - \\ - 0,09 x_2 x_3 x_4 + 0,15 x_2^2 + 0,3 x_3^2 + 0,28 x_4^2 \quad (3.1)$$

для коефіцієнта неоднорідності суміші:

$$v = 8,01 - 1,56 x_1 + 0,65 x_2 - 14,93 x_3 - 2,32 x_4 - 0,77 x_2 x_3 + \\ + 1,17 x_1 x_3 + 0,86 x_2 x_4 + 1,53 x_1^2 + 1,96 x_2^2 + 8,54 x_3^2 + 3,4 x_4^2 \quad (3.2)$$

для питомих енерговитрат:

$$W_{\text{уд}} = 3,73 + 1,18 x_1 - 0,38 x_2 + 3,25 x_3 + 0,62 x_4 + 0,97 x_1 x_3 + \\ + 0,23 x_1 x_4 - 0,38 x_2 x_3 - 0,22 x_2 x_4 + 0,47 x_3 x_4 + 0,29 x_1^2 + 0,32 x_3^2 \quad (3.3)$$

З проведеного аналізу отриманих поверхонь відгуку випливає, що для прийнятого комбікорму оптимальні поєднання факторів відповідають поверхням, представленим на **рисунках А1-А6 додатку А**.

Для вибору найбільш оптимальних значень факторів, що варіюються, на процес подрібнення і змішування компонентів комбікормів розглянемо суміщення проекції поверхонь критеріїв оптимізації на площину x_1, x_2 , при x_3 та $x_4 = \text{const}$ (**рис.А7 додатку А**).

Наведені залежності однорідності суміші, середньозваженого розміру частинок готового продукту та питомої енергоємності процесу подрібнення та змішування наочно показують, що мінімальні питомі витрати енергії, що витрачається на процеси подрібнення та змішування компонентів комбікормів, при значеннях коефіцієнта неоднорідної суміші $v=6...7\%$ і крупності частинок комбікорму для ВРХ $d_{\text{cp}}=1,1-1,2$ мм становить $W_{\text{пит}} = 3,73$ Вт·год/ кг.

У зазначеному інтервалі зміни критеріїв оптимізації значення варіюваних факторів x_1 та x_2 лежали в наступних інтервалах: $x_1=-0,017...0,26$ ($\omega=397,45...442$ рад/с) та $x_2 = -0,303 ... 0,25$ ($m = 2..2,44$ кг), при фіксованому значенні факторів $x_3= 0$ ($t = 60$ с) та $x_4= 0$ ($S = 11\ 088$ мм²). При таких значеннях параметрів питома енергоємність процесу подрібнення та змішування становить $W_{\text{пит}} = 3,73...4$ Вт·год/кг.

Відмічені інтервали зміни незалежних змінних слід прийняти за оптимальні.

Збільшення частоти обертання ротора подрібнювача-змішувача до 415 рад/с ($x_1= 0,1$) призведе до зростання питомої енергоємності процесу на 2,3% ($W_{\text{пит}} = 3,82$ Вт·год/кг) при одночасному збільшенні продуктивності на 10% ($Q_T = 141,6$ кг/год.).

Розв'язання задач оптимізації визначає вибір оптимальних режимів досліджуваного процесу: частота обертання ротора подрібнювача-змішувача $m = 415$ рад/с, теоретична продуктивність $Q_T = 141,6$ кг/год., оптимальний час циклу роботи подрібнювача-змішувача $t = 60$ с та сумарної площі робочих

органів ротора подрібнювача-змішувача $S = 11088 \text{ мм}^2$. При таких значеннях параметрів процесу подрібнення та змішування питома енергоємність процесу становить $W_{\text{шт}} = 3,82 \text{ Вт}\cdot\text{год./кг}$ при значеннях середньозваженого розміру частинок готового продукту та коефіцієнта неоднорідності суміші $d_{\text{ср}} = 1,15 \text{ мм}$ та $v = 7\%$ відповідно.

Висновки. Аналіз отриманих залежностей характеристик процесу подрібнення-змішування свідчить про необхідність використання ефективних режимів роботи для отримання необхідної однорідності отриманої суміші та необхідної крупності частинок, що відповідають обраній рецептурі комбікорму; доцільність зменшення тривалості циклу роботи машини за рахунок зміни конструктивно-технологічних параметрів процесу; використання встановленої величини завантаження робочої камери, що дозволить забезпечити оптимальну величину енергоємності процесу подрібнення та змішування, а також якість готового продукту.

Визначені оптимальні режими процесу подрібнення та змішування, при яких питома енергоємність процесу становить $W_{\text{шт}} = 3,82 \text{ Вт}\cdot\text{год./кг}$ при значеннях середньозваженого розміру частинок готового продукту та коефіцієнта неоднорідності суміші $d_{\text{ср}} = 1,15 \text{ мм}$ та $v = 7\%$ відповідно.

4 РЕКОМЕНДАЦІ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза в Україні - вид науково-практичної діяльності уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища, і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки [25].

Завданням законодавства про екологічну експертизу є регулювання суспільних відносин в галузі екологічної експертизи для забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян і держави.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єкта.

Основними завданнями екологічної експертизи є:

- 1) визначення ступеня екологічного ризику і безпеки запланованої чи здійснюваної діяльності;

2) організація комплексної, науково обґрунтованої оцінки об'єктів екологічної експертизи;

3) встановлення відповідності об'єктів експертизи вимогам екологічного законодавства, санітарних норм, будівельних норм і правил;

4) оцінка впливу діяльності об'єктів екологічної експертизи на стан навколишнього природного середовища, здоров'я людей і якість природних ресурсів;

5) оцінка ефективності, повноти, обґрунтованості та достатності заходів щодо охорони навколишнього середовища і здоров'я людей;

6) підготовка об'єктивних, всебічно обґрунтованих висновків екологічної експертизи.

Охорона навколишнього середовища і раціональне використання її ресурсів в умовах бурхливого зростання промислового виробництва стала однією з найактуальніших проблем сучасності.

Рідкі, тверді та газоподібні відходи завжди продукуються внаслідок процесів виробництва і повністю їх уникнути практично неможливо. Крім того, вони спричиняють забруднення довкілля і створюють екологічні проблеми, що також призводить до значної втрати придатних для використання матеріалів та енергії і вимагають додаткових коштів на проведення контролю відходів і вирішення екологічних проблем, тобто очищення забруднених територій і повітря.

Попередження забруднень включає заходи, спрямовані на зниження кількості забруднення з його джерела або інші заходи, які зменшують кількість або усувають повністю появу забруднюючих речовин до того, як вступають в дію інші заходи по управлінню відходами.

Технології зменшення відходів повинні бути ключовим компонентом будь-якої рентабельної, досконалої програми виробництва. Ці складові виробничих процесів не обов'язково повинні базуватися на високих технологіях або потребувати значних капіталовкладень. Технології зменшення відходів

можуть і повинні бути застосовані до будь-якого процесу, від найпростішого до складних виробничих процесів.

Шляхи зменшення відходів у переробній галузі можуть бути поділені на 4 основні групи:

- 1) управління використанням сировини і матеріалів;
- 2) модифікація і вдосконалення процесів виробництва;
- 3) зменшення об'ємів відходів;
- 4) утилізація відходів.

Для будь-якого виробництва першим кроком процесу вдосконалення операцій для мінімізації відходів є оцінка наявного виробничого процесу з метою виявлення шляхів вдосконалення його ефективності. Огляд повинен включати всі складові виробничого процесу, від поставки сировини через виробництво до зберігання готової продукції.

Засоби зменшення кількості шкідливих відходів:

- зменшення кількості відходів на джерелі, де вони продукуються, через зменшення кількості матеріалів, які використовуються для виробництва, їх заміну, внесення змін до виробничих процесів чи їх заміну більш екологічно безпечними, внесення змін до виробничого ланцюга. Необхідно визначити, на якому з етапів виробничого процесу продукуються шкідливі відходи, прослідкувавши виробничий процес в зворотному порядку від стадії обробки відходів;

- повторне використання у виробничому процесі: з усієї кількості отриманих відходів відділяється сировина, яка повертається на використання у цьому ж процесі. В межах підприємства відділяються ті, які мають певну цінність і можуть бути використані для інших галузей чи підприємств;

- замкнений цикл – ідеальна ситуація, коли всі відходи виробництва в повному обсязі повторно використовуються в цьому ж процесі;

- нульові викиди – ситуація, при якій у всіх відходах певного виробництва вміст шкідливих речовин нижчий від тих, які можна зареєструвати наявними засобами аналітичного контролю;

- реєстр токсичних речовин – підприємства повинні подавати відомості про викиди та транспортування з підприємств токсичних речовин і ця інформація повинна бути доступна для громадськості;

- засоби мінімізації шкідливих відходів обов'язково повинні передбачати постійний аналітичний контроль виробничих відходів. В ідеалі корисним є такий контроль на вході і виході кожного окремого технологічного процесу, а не загальний «контроль на виході», в якому основна увага приділяється обробці викидів підприємств, а не превентивним заходам;

- продукти, які є відходами одного виробничого процесу, відділяють і вони можуть служити сировиною для інших виробничих процесів.

4.2 Охорона праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Охорону праці і здоров'я громадян віднесено до пріоритетних напрямків соціальної політики України [26].

Критична ситуація в Україні у сфері безпеки праці проявляється високим рівнем виробничого травматизму і професійної захворюваності, незадовільними умовами праці та санітарним станом підприємств, внаслідок чого держава втрачає кваліфікованих працівників, а натомість отримує десятки тисяч осіб, які потребують повноцінного соціального захисту.

Домінуючими причинами формування несприятливих умов праці залишаються недосконалі технології, машини і механізми, їхня несправність, невикористання засобів захисту, порушення правил техніки безпеки, режимів праці і відпочинку.

Крім цього, роботодавці порушують вимоги Закону України «Про охорону праці» щодо забезпеченості працівників спеціальним одягом,

спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту згідно з Порядком та типовими нормами.

Більше 70% підприємств України не відповідають санітарним нормам. Особливо незадовільний санітарний стан відмічається на середніх і малих підприємствах та підприємствах приватної форми власності.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини, та інші;

- спонукають працюючого допускати помилок у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;

- відсутність відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці[18].

За темою роботи досліджувався процес подрібнювання та змішування компонентів комбікормів, тому розглянемо вимоги безпеки під час роботи з дробарками.

1. Не допускається переборка зерна та інших продуктів без очищення від металічних та інших сторонніх домішок.

2. Впевнившись у відсутності людей в небезпечних зонах, поблизу викидної горловини молоткової дробарки і подавши звуковий сигнал, проводять запуск. Після набирання двигуном нормальних обертів включити подаючий транспортер, забезпечуючи рівномірність подачі продукту, що підлягає переборці.

3. Зависаючи в бункері сипучі (зерно, лущиння і т.ін.) та застрявши в прийомній горловині несипучі продукти звільняти з допомогою дерев'яного проштовхувача довжиною не менше 1 м.

4. Забороняється до повної зупинки двигуна машини відкривати люки шлюзових запорів, знімати захисні кожухи проводити мащення, підтягувати різьбові з'єднання чи проводити технічне обслуговування.

5. При зупинці машини на ремонт чи технічне обслуговування на рубильнику чи вимикачі її вивішують табличку "Не включати — працюють люди!"

6. При ремонті користуватися тільки справним інструментом.

7. При кожній зупинці з машини слід змитати борошняний пил. Періодично проводити прибирання приміщення, провітрювати його, зволожувати повітря, слідкувати за герметичністю повітропроводів.

8. Перед зупинкою машини спершу припиняти подачу продукту (виключенням подаючого транспортера, перекриттям заслінки і т.д.) і, коли продукт перестав поступати, виключити двигун.

9. При сильній запиленості слід користуватися захисними окулярами і протипиловими респіраторами.

10. Категорично забороняється залазити в бункери, силоси та ін. Силоси, люки повинні бути закриті кришками і заперті на замок. Завальні ями повинні бути обладнані захисними решітками.

11. Спуск в закриті бункери, силоси глибиною більше 2 м повинні проводитись по наряду-допуску з використанням лебідки, рятувального паса з рятувальним канатом, при необхідності шлангового протигазу. В бригаді повинно бути не менше трьох чоловік. Під час перебування людей в бункері завантаження і розвантаження зерна забороняється.

12. Очищення забивання норій проводять при виключеному двигуні за допомогою спеціальних чистиків.

13. Забороняється залишати працюючу машину без нагляду.

14. Слід регулярно очищати магнітний сепаратор, камневловлювач, подаючі вальці. Операція очищення проводиться при повністю зупиненій машині.

15. В приміщенні, де розміщена дробарка, сировина і продукти переробки не можна курити і користуватися відкритим вогнем.

16. По закінченні роботи послідовно зупинити подачу матеріалу в машину, вивести дробарку на холостий хід і виключити двигун.

З метою підвищення рівня безпеки праці пропонується:

1. Проводити профілактичні заходи щодо попередження виробничого травматизму.
2. Здійснювати контроль за виробничою дисципліною.
3. Не допускати формального проведення інструктажів з охорони праці.
4. Встановлювати захисні кожухи на обертаючих механізмах.
5. Поновляти технічні засоби виробництва. Застосовувати сучасні технології.
6. Виділяти більше коштів на заходи та засоби безпеки.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

З метою обґрунтування досліджень порівнюємо базовий варіант лінії подрібнення по виробництву суміші для приготування комбікормів для ВРХ.

Повні приведені витрати визначаються за формулою:

$$B_i = B_{\text{ек}} + E_{\text{н}} + K_i, \quad (4.1)$$

де $B_{\text{ек}}$ – поточні експлуатаційні витрати за варіантами, грн;

$E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, грн;

K_i – капіталовкладення по варіантах, грн.

Для правильності розрахунків порівняльної економічності варіантів необхідно результати застосування співставної техніки привести до тотожності. Приведення до порівняльного виду здійснюється за допомогою коефіцієнта приведення α . У разі зміни продуктивності коефіцієнт приведення розраховується за формулою:

$$\alpha = \frac{b_2 F_{\text{д}2}}{b_1 F_{\text{д}1}}, \quad (4.2)$$

де b_1, b_2 – годинна продуктивність відповідно базового та проектного варіантів, т/год.;

$F_{д1}, F_{д2}$ – дійсний фонд часу роботи базового за проектованого об'єктів протягом року, год.

Таким чином, річний економічний ефект визначається за формулою:

$$E_p = B_1 \cdot \alpha - B_2 . \quad (4.3)$$

Капітальні вкладення складаються з таких витрат: вартості основного обладнання, транспортних витрат, витрат на налагодження та монтаж обладнання.

Вартість основного обладнання за базовим за проектованим варіантами наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Вартість обладнання по базовому за проектованому варіантах

Найменування обладнання	Кількість, шт.	Вартість, грн
Базова лінії подрібнення		
Магнітна колонка	2	3200
Молоткова дробарка	1	156000
Транспортер	1	22330
Ваговий дозатор	1	12500
Змішувач	1	56600
Всього	6	250630
Проектована лінія подрібнення		
Магнітна колонка	2	3200
Бункер	1	1600
Об'ємний дозатор	2	93200
Шлюзовий затвор	1	8300
Подрібнювач-змішувач	1	22000
Всього	7	128300

Транспортні витрати становлять 5% вартості устаткування. Витрати на налагодження та монтаж становлять 10% вартості устаткування.

Таким чином, капітальні вкладення за варіантами дорівнюють:

$$K_б = 250630 + 250630 \cdot 0,05 + 250630 \cdot 0,1 = 228225 \text{ грн,}$$

$$K_п = 128300 + 128300 \cdot 0,05 + 128300 \cdot 0,1 = 147545 \text{ грн.}$$

Величина поточних річних експлуатаційних витрат для порівняльних варіантів визначається за виразом:

$$B_{ек} = B_{зп} + B_{ел} + B_a + B_p, \quad (4.4)$$

де $B_{зп}$ – зарплата обслуговуючого персоналу, грн;

$B_{ел}$ – вартість спожитої електроенергії, грн;

B_a – амортизаційні відрахування, грн;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.

Витрати на зарплату обслуговуючого персоналу визначаються за формулою:

$$B_{зп} = F_p \cdot n \cdot k \cdot K_d \cdot K_{сс}, \quad (4.5)$$

де F_p – ефективний річний фонд робочого часу, год. (1992 год.);

n – кількість робочих, чол. (2 особи);

k – годинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, 42 грн/год.;

K_d – коефіцієнт додаткової зарплати, $K_d = 1,09$;

$K_{сс}$ – коефіцієнт відрахувань на соціальне страхування, $K_{сс} = 1,377$.

$$B_{зп} = 1992 \cdot 2 \cdot 42 \cdot 1,09 \cdot 1,377 = 251148 \text{ грн.}$$

Витрати на споживану електроенергію визначаються за формулою:

$$B_{ел} = M \cdot F_d \cdot k_z \cdot Ц, \quad (4.6)$$

де M – споживана потужність, кВт ($M_6 = 51$ кВт, $M_{II} = 28$ кВт);

F_d – дійсний фонд часу роботи обладнання, год. (1800 год.);

k_z – коефіцієнт завантаження обладнання, $k_z = 0,8$;

$Ц$ – ціна на електроенергію, грн/кВт·год.

$$B_{ел6} = 51 \cdot 1800 \cdot 0,8 \cdot 1,68 = 123379 \text{ грн,}$$

$$B_{елII} = 28 \cdot 1800 \cdot 0,8 \cdot 1,68 = 67737 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію:

$$B_{a6} = 228225 \cdot 0,1 = 22822,5 \text{ грн;}$$

$$B_{aII} = 147545 \cdot 0,1 = 14754,5 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_{p6} = 228225 \cdot 0,05 = 11411 \text{ грн;}$$

$$B_{pII} = 147545 \cdot 0,05 = 7377 \text{ грн.}$$

Таким чином, річні поточні експлуатаційні витрати по варіантах:

$$B_{\text{ек б}} = 251148 + 123379 + 22822,5 + 11411 = 408760,5 \text{ грн,}$$

$$B_{\text{ек п}} = 251148 + 67737 + 14754,5 + 7377 = 341016,5 \text{ грн.}$$

Так як продуктивність базової лінії подрібнення 0,15 т/год., проєктованої – 0,18 т/год., то коефіцієнт приведення складе $\alpha = 1,2$.

Приведені витрати по варіантах:

$$B_{\text{б}} = 408760,5 + 0,15 \cdot 228225 = 442994 \text{ грн,}$$

$$B_{\text{п}} = 341016,5 + 0,15 \cdot 14754,5 = 343230 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект від впровадження розробки:

$$E_{\text{р}} = 442994 \cdot 1,2 - 343230 = 188363 \text{ грн.}$$

Термін окупності:

$$T = \frac{147545}{188363} = 0,8 \text{ року.}$$

Основні техніко-економічні показники наведені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Основні техніко-економічні показники

Показники	Базовий варіант	Проєктований варіант
Вартість обладнання, грн	250630	128300
Капітальні вкладення, грн	228225	147545
Витрати на заробітну плату, грн	251148	251148
Витрати на електроенергію, грн	251148	67737
Витрати на амортизацію, грн	22822,5	14754,5
Витрати на ремонт обладнання	11411	7377
Експлуатаційні витрати, грн	408760,5	341016,5
Приведені витрати, грн	442994	343230
Річний економічний ефект	-	188363
Термін окупності, років	-	0,8

Отже, дані результати розрахунків свідчать про доцільність впровадження пропонованої конструкції роторного подрібнювача-змішувача вертикального типу в технологічній лінії для малих та середніх фермерських господарств виробництва комбікормів. Очікуваний економічний ефект 188363 грн, термін окупності 10 місяців.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведений аналіз основних напрямів конструктивно-технологічного удосконалення 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.

Отримано аналітичні залежності коефіцієнта неоднорідності процесу змішування при одночасному подрібненні компонентів комбікормової суміші в залежності від конструктивно-кінематичних параметрів подрібнювача-змішувача.

Проведені комплексні експериментальні дослідження процесів подрібнення та змішування на створеній для цього лабораторній установці, в результаті яких встановлені раціональні режими роботи і схеми конфігурації робочих органів розробленого подрібнювача-змішувача.

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

Розраховані показники економічної доцільності впровадження розробленого подрібнювача-змішувача у лінію з виробництва комбікормів для малих та середніх фермерських господарств показав очікуваний річний економічний ефект 188363 грн, термін окупності 10 місяців.