

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Охорона праці та біотехнічних систем у

тваринництві

(назва кафедри)

_____ Хмельовський В.С.
(підпис) (ПІБ)

« _____ » _____ 2026 р.

Бакалаврська кваліфікаційна робота

на тему «Підвищення ефективності технології виробництва кормів із побічних

продуктів крохмале-патокового виробництва»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

_____ Братішко В.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

_____ Ачкевич О.М.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав

_____ Гриценко Дмитро Олександрович
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ

І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Охорона праці та біотехнічних систем у
тваринництві

д.т.н., проф. _____ **Хмельовський В.С.**
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)
« _____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи

Гриценко Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Підвищення ефективності технології виробництва кормів із побічних продуктів крохмале-патокового виробництва»
затверджена наказом ректора НУБіП України від «16» лютого 2026р. №510 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: _____ 04.05.2026
(рік, місяць, число)

Вихідні дані бакалаврської кваліфікаційної роботи: Технічна документація змішувачів

Перелік питань які потрібно розробити _____

Вступ;

Аналіз існуючих конструкцій змішувачів;

Властивості шнеко-лопатевого змішувачів;

Розробка шнеко-лопатевого змішувача;

Техніко-економічна оцінка

Висновки;

Список використаних джерел;

(перелік питань, які потрібно розробити)

Перелік графічного матеріалу: Вступ; мета та завдання дослідження; об'єкт дослідження; класифікація агрегатів; шнеко-лопатевого змішувача; деталювання. Висновки

Дата видачі завдання «23» лютого 2026 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра _____

(підпис)

Ачкевич О.М.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Гриценко Д.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Він складається з реферату, ілюстрацій, таблиць, 15 посилань, та 47 рисунків.

Ключові слова: крохмале-патокове виробництво, побічні продукти, шнеко лопатевий змішувач, кукурудзяний екстракт, змішування, механізація.

У роботі проведено аналіз існуючих технологій та обладнання для приготування кормових сумішей із побічних продуктів крохмале-патокового виробництва. Встановлено, що одним із перспективних напрямків удосконалення технологічного процесу є застосування шнеколопатєвого змішувача, який забезпечує інтенсивне та рівномірне перемішування компонентів корму.

Основною метою роботи є удосконалення технології виробництва кормів шляхом проектування шнеколопатєвого змішувача для приготування кормових сумішей на основі побічних продуктів крохмале-патокового виробництва. Для досягнення поставленої мети виконано аналіз конструкцій змішувального обладнання, розроблено конструктивну схему змішувача, проведено розрахунок основних параметрів машини та визначено раціональні режими її роботи.

У процесі проектування враховано фізико-механічні властивості компонентів кормової суміші, особливості їх транспортування та перемішування. Запропонована конструкція шнеколопатєвого змішувача дозволяє підвищити якість готового корму, зменшити енергетичні витрати та забезпечити ефективну переробку побічних продуктів виробництва.

Мета роботи: підвищення ефективності використання побічних продуктів крохмало-паткових підприємств у кормовиробництві шляхом розробки технології, проектування та обґрунтування параметрів змішувального агрегату для приготування вологих кормів.

Об'єкт дослідження: технологія та робочі процеси технічних засобів приготування кормів із побічних продуктів крохмалопаткового виробництва.

Предмет дослідження: сумішоутворення та динаміки руху компонентів у робочих органах спроектованого змішувального агрегату.

1. Вивчити існуючі способи та обладнання для приготування кормів із відходів крохмального виробництва і знайти шляхи їх покращення.

2. Спроекувати та розробити комплекти креслень нового змішувального апарата, який буде автоматично дозувати компоненти, нейтралізувати кислотність екстракту та якісно перемішувати корм.

3. Розрахувати та обґрунтувати оптимальні розміри, конструкцію та робочі режими (швидкість обертання, продуктивність) спроектованого апарата.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. СТАН ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ КРОХМАЛЕПАТОЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ.	9
1.1 Аналіз побічних продуктів крохмально-картопляного виробництва	9
1.2 Аналіз способів приготування кормів із ППКВП	10
1.3 Аналіз технічних засобів приготування кормів із ППКВП	17
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПРИГОТУВАННЯ ВКК ІЗ ППКВП	26
2.1 Технології приготування ВКК із ППКВП	26
2.2 Технічні засоби для впровадження розробленої технології	28
2.3 Теоретичне обґрунтування процесів та параметрів технічних засобів приготування кормів із ППКВП	32
2.3.1 Теоретичне обґрунтування процесу нагрівання в нейтралізаторі	32
2.3.2 Теоретичне обґрунтування технологічного процесу шнеково-лопатевого змішувача	36
3. ПРОГРАМИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ	41
3.1 Програма досліджень фізико-механічних властивостей ППКВП	41
3.2 Визначення впливу температури на клейкість	42
3.3 Дослідження впливу вологості на теплофізичні властивості ППКВП	43
3.4. Лабораторна установка для дослідження технологічного процесу нейтралізатора	44
3.5. Лабораторна установка для дослідження процесу змішування ВКМ	48
3.6 Програма досліджень процесу приготування СКК	52
4. РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ СПІРАЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА СКК ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ	57
4.1. Спіральний змішувач	57
4.2. Результати використання СКМ	58
5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПІРАЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА СКК	
5.1. Ефективність використання гранульованого СКК	61

5.2. Ефективність технології приготування ВКК	61
5.3. Економічна ефективність спіральних змішувачів	63
5.4 Охорона праці	65
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	69

ВСТУП

При переробці кукурудзи на крохмаль і як побічні продукти отримують пелеву, дроблене зерно, мезгу, екстракт і макуху, що утворюється в результаті віджиму масла з зародка. Ці продукти широко застосовуються як компоненти корму в раціоні сільськогосподарських тварин. Завдяки своєму складу макуха, пелева та подрібнене зерно найбільш затребувані виробниками сільськогосподарської продукції.

Через низьку концентрацію сухих речовин рідкий кукурудзяний екстракт практично не затребуваний у виробників сільськогосподарської продукції. При скиданні в довкілля кукурудзяний екстракт створює велику екологічну проблему, оскільки є біологічно активним.

Переробники кукурудзи змушені йти на додаткові витрати та згущувати екстракт на вакуумних установках випарних для скорочення його обсягу. Згущений кукурудзяний екстракт є тягучою масою - пастою вологістю 55...60%. Він має високу кормову цінність і містить до 50% білка, токофероли, тіамін, рибофлавін, піридоксин, біотин, а також вуглеводи та органічні кислоти. Однак кукурудзяний екстракт, що згущує, є кислим продуктом, показник рН становить 4,2...4,4.

Використання кислих кормів у раціоні годівлі великої рогатої худоби призводить до зниження рН вмісту рубця, оскільки через нього проходить до 80 % органічних речовин, то руйнується біохімічні системи рубця. Це призводить до зниження перетравності кормів та продуктивності тварин. Також через низькі значення рН в рубці шлунка сповільнюється моторика всіх його відділів, відбувається застій кормової маси в передшлунках. Кислотне середовище рубця при зруйнованій мікрофлорі призводить до захворювання тварини.

Нині побічні продукти крохмалопаткового виробництва використовують із приготування як сирих, і сухих кормів. Через сезонний попит на побічні продукти крохмального виробництва їх слід сушити. Приготування сухих кукурудзяних, тим більше гранульованих кормів, вимагає складного і дорогого обладнання, а також значних витрат енергії на сушіння, це призводить до підвищення собівартості продукції. 8 Найбільш раціональною пропозицією є приготування вологих кормів з побічних продуктів крохмалопаткового виробництва за умови видалення споживача від постачальника в районі не більше двохсот кілометрів. Такі корми мають досить високу кормову цінність при низькій собівартості їх приготування.

Сучасна технологія використання побічних продуктів переробних підприємств у кормовиробництві повинна забезпечувати глибоку переробку харчової сировини, зниження собівартості виробництва та підвищувати її екологічну безпеку.

Побічні продукти крохмалопаткового виробництва мають велику кормову цінність, але висока вологість і кислотність при існуючих технологічних

прийомах і технічних засобах не дозволяють їх ефективно використовувати в приготуванні кукурудзяних кормів, що відповідають зоотехнічним вимогам, а утилізація веде до безповоротних втрат з нанесенням шкоди.

Ціль досліджень. Підвищення ефективності використання побічних продуктів крохмалопаткових підприємств у кормовиробництві шляхом розробки та обґрунтування технології та засобів механізації приготування кормів.

Завдання досліджень.

1 - проаналізувати та узагальнити результати виконаних досліджень з технологій та засобів механізації приготування кормів з побічних продуктів крохмалопаткового виробництва та виявити перспективний напрямок їх удосконалення;

2 розробити конструктивно-технологічні схеми машин для приготування кормів із побічних продуктів крохмалопаткового виробництва;

3 - обґрунтувати конструктивно-режимні параметри розроблених машин та виявити оптимально-раціональні режими їх роботи;

4 - здійснити перевірку розробленої технології та машин та визначити економічну ефективність їх використання.

Об'єкти досліджень. Технологія та робочі процеси технічних засобів приготування кормів із побічних продуктів крохмалопаткового виробництва.

Предмет дослідження. Закономірності технологічних процесів нейтралізації згущеного кукурудзяного екстракту та сумішоутворення при приготуванні кормів сільськогосподарським тваринам із побічних продуктів крохмалопаткового виробництва.

Теоретична та практична значущість роботи.

Теоретична значимість роботи полягає в тому, що: розширено та уточнено показники фізико-механічних та теплофізичних властивостей кукурудзяного екстракту, мезги та їх суміші; розроблено структурну схему функціонування технології приготування кормів із побічних продуктів крохмалопаткового виробництва; запропоновано математичні залежності, що дозволяють визначити режими технології та параметри розроблених машин для нейтралізації кислотності кукурудзяного екстракту, його дозування та змішування з мезгою при приготуванні кормів, що відповідають зоотехнічним вимогам. Практична значимість роботи полягає в тому, що за результатами дослідження розроблено технологію приготування кормів із побічних продуктів крохмалопаткового виробництва, засоби механізації та технічної документації на виготовлення, представлено рекомендації щодо приготування кормів сільськогосподарським тваринам із побічних продуктів крохмалопаткового виробництва. Отримані результати дисертаційного дослідження дозволяють проектним та конструкторським підприємствам розробляти машини та обладнання для приготування кормів, а кукурудзопереробним підприємствам підвищити ефективність використання та утилізації побічних продуктів без екологічних збитків навколишньому середовищу.

1. СТАН ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ КРОХМАЛЬНО-КАРТОПЛЯНИХ ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Аналіз побічних продуктів крохмально-картопляного виробництва

На переробних підприємствах в Україні крохмаль одержують із пшениці, картоплі та кукурудзи.

При виробленні крохмалю з картоплі як побічні продукти будуть картопляна мезга і сік, який часто піддається розведенню водою.

Побічними продуктами при переробці картоплі на крохмаль є сік і мезга.

Для годівлі сільськогосподарських тварин використовувалася переважно картопляна мезга, кормова цінність якої 1,1 у перерахунку на абсолютно суху речовину. Нині в Україні частка картопляного крохмалю становить менше ніж 10%. Побічні продукти переробки пшениці на крохмаль використовуються в нашій країні в незначних обсягах, в основному вони експортуються за кордон. Пріоритетною сировиною крохмалопаткової промисловості нашої країни є зерно кукурудзи. При переробці зерна кукурудзи на крохмаль, патоку та олію побічними продуктами є зародок, глютен, мезга, екстракт. З зародка виробляють кукурудзяну олію та макуху. Глютен є білком і широко використовується в харчовій промисловості, а також використовується як компоненти при приготуванні кормів для птиці та свійських тварин.

При вирішенні питання про використання побічної продукції крохмалопаткового виробництва та утилізації стоків потрібно виходити зі зниження собівартості основної продукції за рахунок додаткового доходу від реалізації побічної при зниженні екологічної шкоди навколишньому середовищу. Найбільш раціонально використовувати побічні продукти крохмалопаткового виробництва для годівлі тварин. У раціонах годівлі сільськогосподарських тварин найбільше застосування знайшли побічні продукти крохмалопаткового виробництва (ППКВП) віджата кукурудзяна мезга (ВКМ) та згущений кукурудзяний екстракт (ЗКЕ).

ВКМ в основному складається з подрібненої ендосперми та оболонки зерна та переважно містить крохмаль до 12 %. Найбільш цінними компонентами у ВКМ є клітковина, крохмаль та білок.

Початковим етапом переробки зерна є її замочування в розчині сірчистої кислоти, внаслідок чого розчинні речовини переходять у рідину, яка є кукурудзяним екстрактом ($W=91...94\%$). Потім екстракт концентрується до вологості $W = 52...60\%$ парових вакуумних установках. ЗКЕ - це густа рідка субстанція здатна до розшаровування, його кормова цінність полягає у вмісті білків, жирів, вуглеводів та органічних кислот. При цьому є альтернативні способи згущення екстракту.

Істотним недоліком ЗКЕ є висока кислотність рН 4,2...4,4 обумовлена високим вмістом органічних кислот до 34%. Аналіз ППКВП показав, що є цінними компонентами кормової суміші сільськогосподарських тварин. ВКМ

може бути використана як самостійний корм, або у складі кормосуміші. ЗКЕ має обмежене застосування через високу кислотність, незважаючи на високу кормову цінність. Використання кормів з високою кислотністю порушує кислотно-лужний баланс організму тварини та веде до негативних наслідків. При змішуванні ВКМ та ЗКЕ одержують вологі кукурудзяні корми (далі за текстом ВКК) ($W = 65 \dots 67\%$). Вони мають високу кормову цінність - 1,2 к.е. (у перерахунку на абсолютно суху речовину), яка характеризується вмістом протеїну 71-82%, жиру – 5...6% та клітковини 9...10%. При цьому кукурудзяний протеїн засвоюється в п'ять разів краще, ніж соєвий. Докладний склад сирого корму, приготовленого з ППКВП представлений у додатку А таблиця А5. Як показує аналіз хімічного складу ВКК 18, приготовленого шляхом змішування ВКМ і ЗКЕ не вирішує проблему високої кислотності останнього.

Світова тенденція використання ППКВП замість зернових кормів у сухому та вологому вигляді. Сухі кукурудзяні корми (далі за текстом СКК), приготовані з ППКВП, мають суттєві переваги, великий термін зберігання, можливість транспортування на великі відстані, широкий діапазон застосування. При цьому вони мають високу собівартість через необхідність випаровування великої кількості води. Використання СКК із ППКЗП також обмежене зоотехнічними вимогами через високу кислотність. Оскільки органічні кислоти, що мають у своєму складі, при попаданні в шлунок тварини і взаємодії з водою призводить до негативного впливу на організм тварини. Крім того, при сушінні частина корисних речовин ППКВП будуть безповоротно втрачені.

Виробники тваринницької продукції, починаючи з середини минулого століття, широко застосовували ППКВП у вологому вигляді для годівлі великої рогатої худоби під час виробництва яловичини. Ефективність використання вологого корму, приготовленого з ППКЗП, доведена наукою та практикою. За даними виконаних досліджень без шкоди для продуктивності та здоров'я дійних корів, можливе використання вологого корму замість 50% концентратів, при цьому не більше 6 кг на голову. Також доведено високу ефективність використання ППКВП у раціонах годівлі свиней. При всіх вищевказаних перевагах ВКК і СКК, приготованих з ППКВП для підвищення ефективності їх використання необхідно вирішити проблему високої кислотності. На даний момент найбільш раціональним рішенням є приготування та використання ВКК, що відповідають зоотехнічним вимогам. Це дозволить вирішити проблему дефіциту протеїнових кормів у раціонах годівлі великої рогатої худоби за мінімальних витрат.

1.2 Аналіз способів приготування кормів із ППКВП

Застосовувані технології використання ППКВП як корми сільськогосподарським тваринам можна розділити на дві основні групи. Перша група – приготування ВКК, друга – СКК. У 70-80-х роках минулого століття для

ефективного використання ППКВП поблизу переробного виробництва будувалися і надалі функціонували сільськогосподарські підприємства з відгодівлі молодняку великої рогатої худоби. Зневоднена до вологості 60...65% на дугових ситах чи пресах мезга з крохмального виробництва відвантажувалася споживачеві та доставлялася до місця згодовування автотракторним транспортом або перекачувалась трубопроводами. Однак цей вид корму не збалансований по поживних речовин і має високу кислотність з переважанням клітковини. Тому раціон слід збагачувати відсутніми компонентами

Вченими було розроблено технологію використання відходів переробки картоплі на корм худобі. Запропонована технологія може бути реалізована під час використання ППКВП, оскільки їх хімічний склад і фізичний стан мають суттєві відмінності. Використання результатів даного дослідження за прямим призначенням так само неможливе, в даний час виробництво крохмалю з картоплі практично відсутнє.

Наприкінці 70-х років минулого століття запропоновано технологію використання ППКЗП, що полягає в дозуванні та змішуванні ЗКЕ з ВКМ з додаванням макухи та пелеви. Ця технологічна схема представлена рисунку 1.1. ППКВП, макуха і пелева з бункерів накопичувачів 1, 2 і 3 дозовано подаються в змішувач 4. Далі готовий корм надходить в бункер тимчасового накопичення 5, з якого відвантажуються в транспортні засоби.

Отриманий сирий корм має високу кормову цінність. Серйозним недоліком є висока кислотність (рН 4,0...4,4) кормової суміші внаслідок значної кількості органічних кислот у ЗКЕ, що обмежує його застосування. У кормоприготуванні відомі способи зниження кислотності шляхом додавання реагенту, в якості якого використовують оксиди та гідроксиди кальцію, натрію, а також крейди та аміаку.

Відомий спосіб приготування корму з ППКЗП з попередньою нейтралізацією ЗКЕ представлений рисунку 1.1.

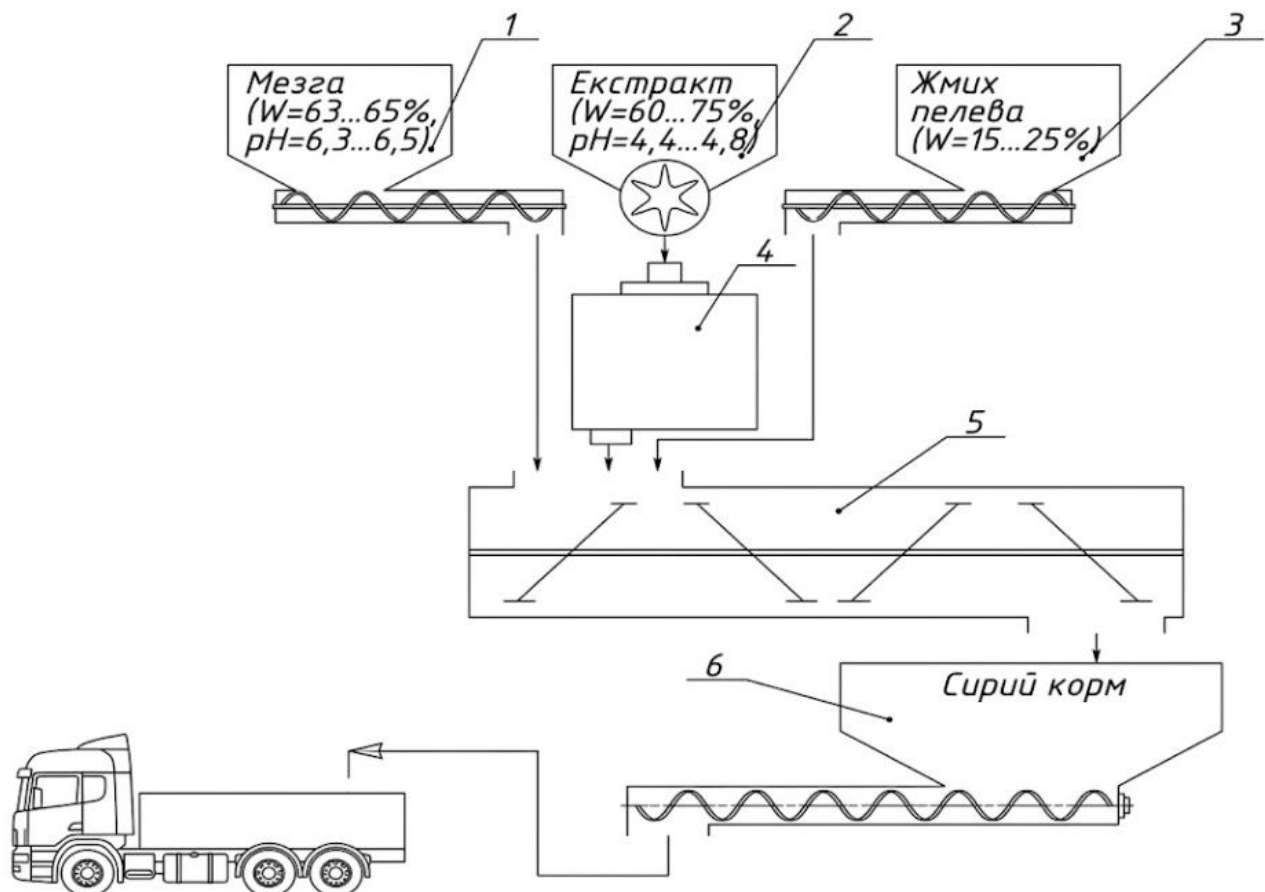


Рисунок 1.1 - Технологічна схема виробництва корму з ППКЗП:

1 - бункер - дозатор ВКМ; 2 - бункер-дозатор ЗКЕ. 3 - бункер-дозатор макухи та пелєви; 4 - ємність для нейтралізації ЗКЕ; 5 - змішувач; 6 - бункер накопичувач ВКК

На відміну від вищевикладеного способу попередньо здійснюється нейтралізація кислотності ЗКЕ шляхом додавання реагенту. Потім відбувається змішування, накопичення та відвантаження. У цій технології проблема високої кислотності вирішується в повному обсязі. Знизити кислотність відомими реагентами і отримати корми, відповідні зоотехнічні вимоги не є можливим.

При повній нейтралізації кислотності ЗКЕ відбувається перевищення допустимих норм вміст мікроелементів у кормі, що готується. При використанні крейди та аміаку утворюється буферний розчин і при подальшому додаванні реагенту кислотність не знижується. Додатковою перешкодою використання крейди та аміаку як реагентів є утворення піни при нейтралізації кислотності ЗКЕ.

Відомий спосіб переробки побічних продуктів харчових та переробних виробництв реалізований біокомплекс. Технологія полягає у обробці побічних продуктів ферментами.

При ферментації руйнується структура речовин, що містяться, з утворенням простих полісахаридів, з яких надалі утворюється легкозасвоюваний вуглеводно-білковий компонент. Приготування вуглеводно-білкового компонента відбувається в такий спосіб. Лінії прийому розсипної та рідкої сировини 1, 2

приймають компоненти, і направляють їх у бункери дозатори 3. Далі сировина дозовано подається в змішувач 4, після чого завантажуються в біологічний реактор 5 додаються ферменти. Протягом усього часу ферментації реактор подається повітря компресором 6, а задана температура підтримується за допомогою парогенератора 7. Маса в біологічному реакторі знаходиться від п'яти до шести днів. Після вивантаження біологічних реакторів отриманий вуглеводно білковий концентрат направляється в сушарку 8, потім подрібнювач 9 і фасується в мішки 10.

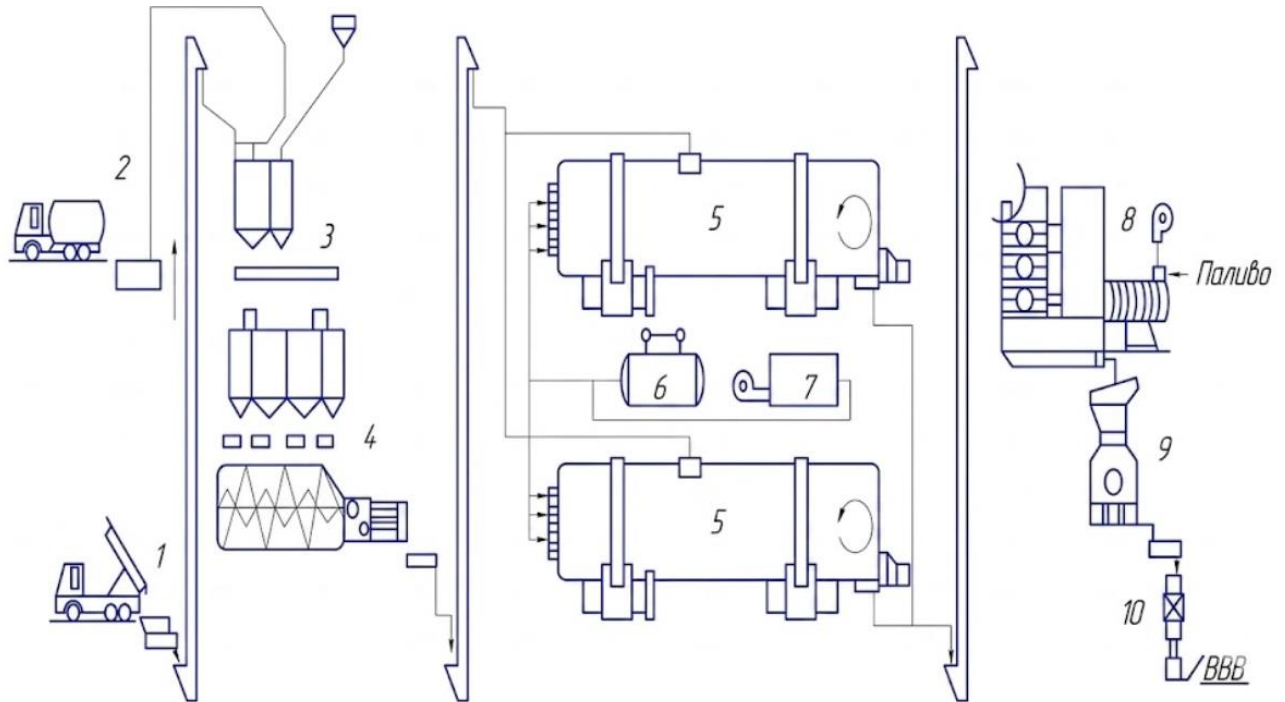


Рисунок 1.2 - Технологічна схема виробництва вуглеводно-білкового компонента

Слід зазначити, що застосування даної технології дозволять виробляти цінний для тваринництва продукт - вуглеводно-білковий концентрат, використання якого дозволяє балансувати раціон годівлі. Змінюючи технологічні режими даного обладнання, можливо, отримувати продукт із необхідними характеристиками.

При переробці ППКВП з цього методу з'являється ряд проблем. Зокрема малу частину від загальної кількості ППКВП можна переробляти та одержувати вуглеводно-білковий концентрат. Весь обсяг ППКВП переробляти подібним чином неможливо. Через тривалість та достатню складність процесу.

При переробці картоплі на крохмаль використовували спосіб сушіння мезги димовими газами. Устаткування цієї технологічної лінії вироблялося серійно промисловістю, її максимальна продуктивність становила близько 6 тонн/сут.

Слід звернути увагу, дане обладнання забезпечує сушку тільки картопляної мезги, при цьому більш цінний продукт картопляний сік в даному випадку не використовується. Сушіння мезги здійснюється наступним чином. Мезга

безпосередньо з виробництва прямує на прес 1, де віджимається до вологості $W = 82 \dots 82\%$, потім через шнек 2, роторний живильник 3 і закидувач 4 потрапляє в сушарку 5. Де відбувається сушіння димовими газами з початковою температурою $350 \dots 450 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Як запобіжник у сушарці встановлений клапан 6. Після сушарки 5 за допомогою циклону 7 вся маса розділяється, суха мезга направляєється через шлюзовий затвор 8 і шнек 9 на фасофку 11. Відпрацьовані димові гази видаляються з циклону 7 вентилятором 10.

Цей спосіб має вузькоспрямоване застосування, а застосування його в даний час є не раціональним через високі витрати на паливо. Це відбувається через те, що мезга надходить у сушарку з високою вологістю, це спричиняє велику витрату палива на димові гази. Також викликає сумніви у цінності одержуваного продукту, як було зазначено вище, сушиться лише картопляна мезга із вмістом крохмалю близько 40%. При заявленій температурі сушіння відбудеться клейстеризація крохмалю з подальшим утворенням грудок.

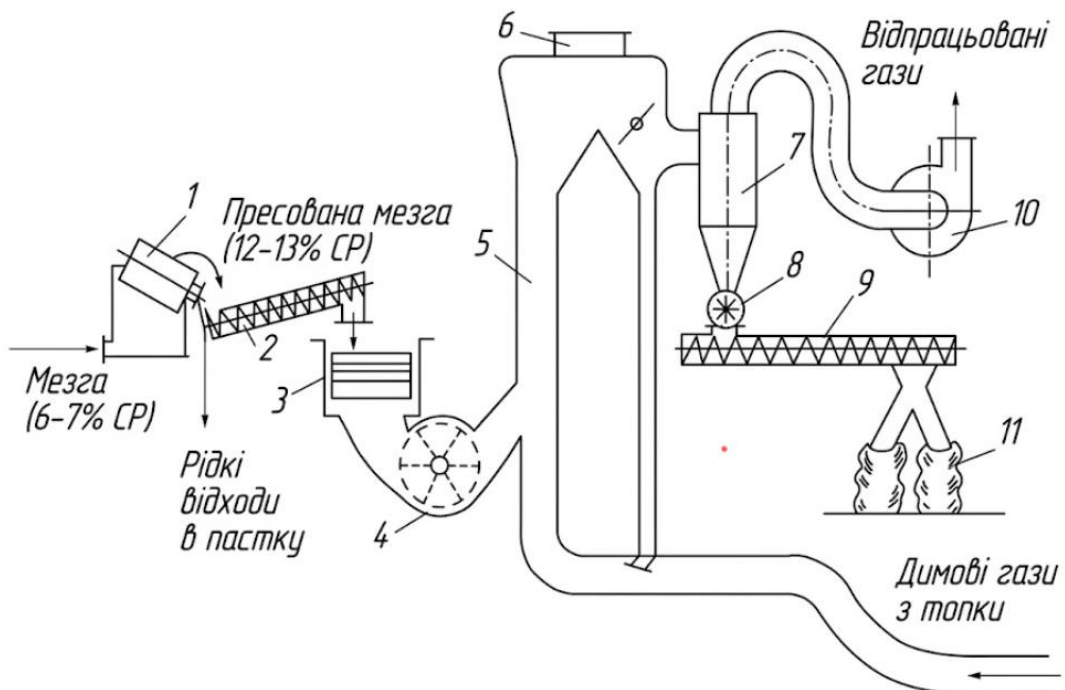


Рисунок 1.3 - Спосіб сушіння картопляної м'якоти

Виготовлення кормів відбувається наступним чином. Сухі компоненти ППКВП через подрібнювач 1 та дозатори 2 потрапляють у змішувач 3. Змішана маса надходить у прес-гранулятор 4 разом із підготовленим ЗКЕ. У цьому випадку ЗКЕ використовується як зволожувач. Гранульована маса направляєється в охолоджувач 5 і проходить очищення від можливих металевих домішок за допомогою магніту 6. Дана технологія дозволяє готувати корми з ППКВП, а використання ЗКЕ в якості збагачувальної добавки дозволяє отримувати якісні гранули. При цьому ЗКЕ використовується в обмеженій кількості.

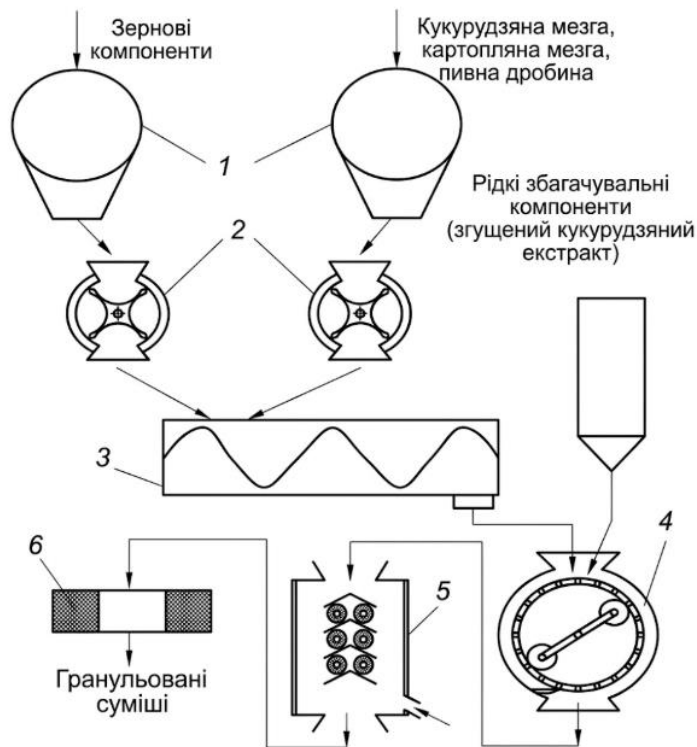


Рисунок 1.4 - Технологическая схема приготовления прессованных кормов из ППКВП

Вчені розробили спосіб приготування СКК із застосуванням двоступеневого сушіння (рис. 1.5.)

У цьому способі використовуються всі продукти, що виробляються ППКВП. Вологі продукти – глютен, дрібна та велика м'якоть – максимально зневоднюються на осадкових центрифугах 1. Кислотність СГЕ частинно нейтралізується 2 известковим молочком. Після цього ППКВП направляються в 31 змішувач 3. Після змішування глютен, м'якуш і ЗКЕ направляються в сушарку 4. Перша сушарка підсушує матеріал до вологості 25...35%.

Залишки від качана кукурудзи (качан) подрібнюються на дробарці 5 і разом з підсушеною масою подаються до іншої сушарки. Додавання подрібненої качан дає можливість підвищити ефективність іншого ступеня сушіння. Після другої сушарки досягається вологість маси 10%. У висушену масу додають макуху та пелеву і направляють на ситовий розсів 6. Після феромагнітного сепаратора 7 готовий корм відправляють на зберігання або фасування. Для виключення спекання маси в даному способі здійснено рециркуляцію частини сухого корму на інший ступінь сушіння.

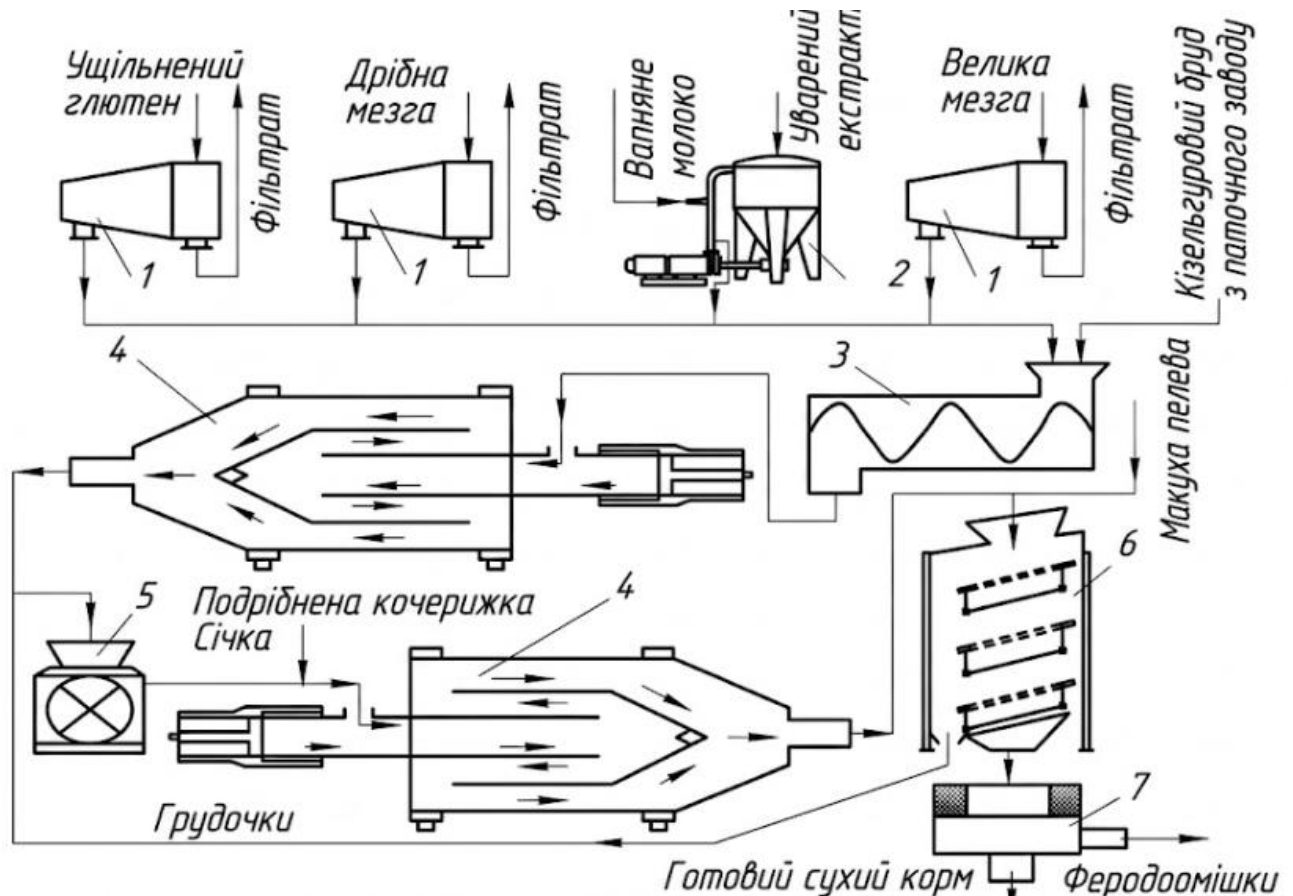


Рисунок 1.5 - Технологічна схема виробництва СКК із застосуванням двоступеневої сушки

При використанні викладеного способу виробництва корму з ППКВП проблема високої кислотності не вирішується. Використання вапняного молочка не дозволяє повністю нейтралізувати кислотність. Крім того, при додаванні вапняного молочка до ЗКЕ значно підвищується його вологість.

Спосіб, розроблений для переробки побічних продуктів пивоварного виробництва, дозволяє використовувати його для приготування кормів із ППКВП (рис. 1.6). Спосіб базується на біологічній переробці побічних продуктів із використанням дріжджових бактерій. У змішувач 1 завантажуються побічні продукти разом із грубими кормами, які надходять через подрібнювач 2 і дозатор 3. Сухі компоненти з ємностей 4, через подрібнювач також направляються у змішувач 1. Використання сухих компонентів і грубих кормів дозволяє значно знизити вологість маси. Отриману масу завантажують у реактор 6. Перероблену масу після реактора направляють у прес-гранулятор 7. Після охолодження в колоні 8. Готовий корм завантажують транспортером 9 у бункери готової продукції 10.

Аналогічно біокомплекс реалізує спосіб, заснований на біологічній обробці побічних продуктів харчових виробництв, тому передбачають тривалий період виробництва кормів. Як показав представлений вище аналіз способів, які можна використовувати при переробці ППКВП, вони мають ряд істотних недоліків.

Застосування різних способів приготування СКК не вирішує проблему їхньої високої кислотності. Собівартість СКК буде високою через значне споживання енергії, що витрачається на видалення вологи, та використання великої кількості дорогого обладнання.

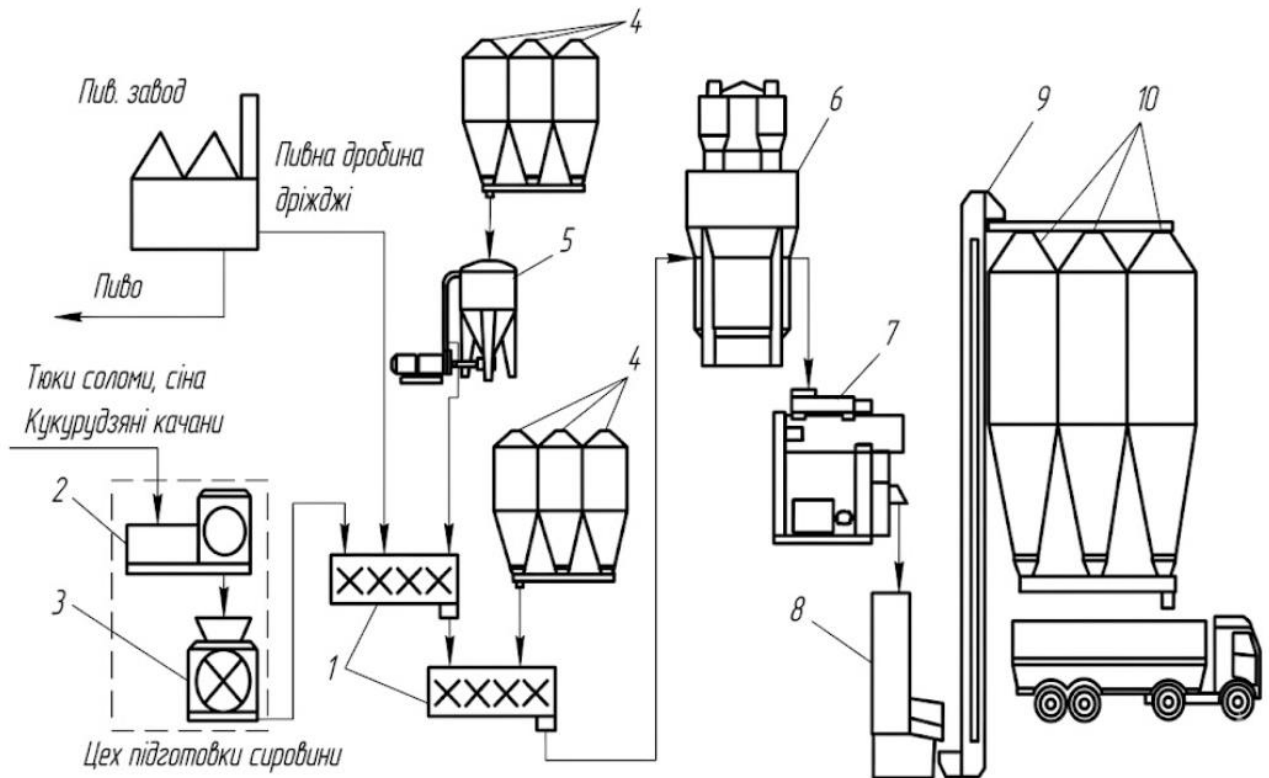


Рисунок 1.6 - Технологічна схема виробництва кормів на пивоварні

Як показує практика, нині, ВКК, виготовлені з ППКЗП, затребувані в зоні транспортної доступності підприємств. При цьому переробні підприємства за мінімальних вкладень на приготування кормів знижують собівартість основної продукції та вирішують екологічну проблему пов'язану з утилізацією ЗКЕ. При цьому необхідно вирішити основну проблему високої кислотності кормів, виготовлених з ППКЗП.

Використання кислих кормів у раціоні годівлі великої рогатої худоби призводить до зниження рН вмісту рубця, оскільки через нього проходить до 80 % органічних речовин, то руйнується біохімічної системи рубця. Це призводить до зниження перетравності кормів та продуктивності тварин. Також через низькі значення рН в рубці шлунка сповільнюється моторика всіх його відділів. Кислотне середовище рубця при зруйнованій мікрофлорі у ньому призводить до захворювання тварини. На підставі вище викладеного впливає, що зараз проблема відповідності кормів приготованих із ППКЗП зоотехнічним вимогам, особливо за кислотністю, є актуальною і потребує вирішення.

1.3 Аналіз технічних засобів приготування кормів із ППКВП

Реалізація представлених способів виготовлення кормів з ППКВП

неможлива без відповідних технічних засобів. Виробничими процесами приготування таких кормів є: нейтралізація кислотності (хімічна обробка), дозування, змішування, транспортування, зберігання та інші.

Для проведення хімічної обробки кормів можливе використання таких відомих засобів механізації. Змішувач меляси та карбаміду СМ - 1,7. Основне призначення СМ -1,7 це приготування протеїнового концентрату з меляси та карбаміду. Цей змішувач складається з двох ємностей 5 і 1,8м 3 перша для тимчасового зберігання меляси, друга змішування. Ємності з'єднані трубопроводом, яким за допомогою насоса перекачується меляса і готовий концентрат. Для підтримки меляси у рідкому стані всі складові змішувача мають парову сорочку. Принцип роботи СМ - 1,7 полягає у розчиненні меляси гарячої води та подальшому змішуванні з карбамідом у строго визначеній пропорції. Роль робочого органу змішувача виконує лопатева мішалка. Агрегат приготування заміника молока призначений для приготування кормової суміші, яка використовується для вигоювання телят.

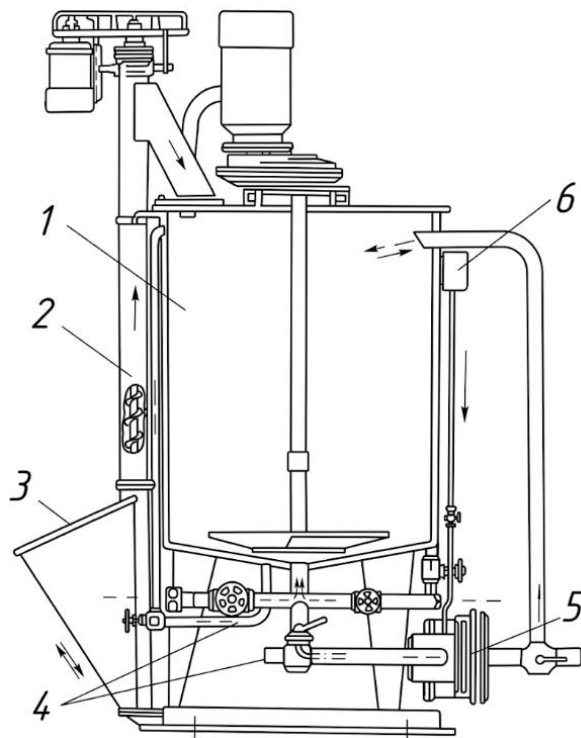


Рисунок 1.7 - Схема лабораторної установки для дослідження процесу змішування компонентів кукурудзяного корму

Агрегат складається з ємності 1, усередині якої розміщена лопатева мішалка. Для подачі концентратів є шнековий транспортер 2 із завантажувальною горловиною 3. Підведення води та пари здійснюється по трубопроводах 4, які з'єднані з насосом емульсатором 5 і ємністю жирних вітамінних добавок 6. У ємність заливають воду і завантажують комбікорм, потім подають пару. Після запарювання в ємність додають знежирене молоко. Приготовлену суміш охолоджують та змішують з жирними вітамінними

добавками за допомогою насоса емульсатора. Таким чином у результаті виходить, колоїдно-дисперсна емульсія, збагачена жирами та вітамінами.

Змішувач запарник кормів КС 600. Основне призначення це перемішування, хімічна, біологічна та термічна обробка кормів. Корпус змішувача представляє закриту ємність, усередині якої встановлена горизонтально лопатева мішалка і розташованим під нею вантажним шнековим транспортером. Бічні стінки корпусу мають парову сорочку. Привід мішалки та шнекового транспортера здійснюється від електродвигуна через редуктор та клинопасову передачу.



Рисунок 1.8 - Змішувач КС 600

Принцип роботи змішувача КС-600 наступний. Компоненти кормової суміші по чергові завантажуються до змішувача. При хімічній або біологічній обробці додається необхідний компонент та вода. Дана маса перемішується та витримується протягом визначеного часу. При термічній обробці до парової сорочки подається теплоносіє.

Для змішування вологих кормів широко застосовуються стрічкові та лопатеві змішувачі періодичної та безперервної дії. У вітчизняній практиці широке застосування мають одновальні стрічкові змішувачі періодичної дії. Дане обладнання використовується для змішування зернових компонентів, подрібнених грубих та соковитих кормів, мінеральних добавок, а також жирів. Конструктивно такий змішувач є закритим бункером із завантажувальним та вивантажувальним отворами. У нижній частині бункера, яка має циліндричну форму, встановлено робочий орган, виконаний у вигляді горизонтально розташованого вала зі стрічковими навивками. Дана конструкція має малу металомісткість та енергомісткість, при цьому забезпечує однорідність змішування в діапазоні 93...95%.

Для інтенсивного перемішування важкозмішуваних матеріалів, зокрема сипучих із рідинами, ефективними є двовальні змішувачі. Вони являють собою закриту ємність із розташованими всередині робочими органами та вивантажувальним шнеком. Робочі органи виконані у вигляді валів із лопатями

та закріпленою на них спіральною стрічкою. Змішування відбувається за рахунок пошарового переміщення маси під дією лопатей та гвинтової стрічки.

Технічний інтерес для досліджень становить конструкція змішувача з комбінованими робочими органами. Такі агрегати широко використовуються для змішування комбінованих кормів та їхнього збагачення рідкими добавками (наприклад, мелясою). Конструктивно такий змішувач складається із закритого корпусу, в якому розташовано шнек, а під ним - лопатева заважка (мішалка). Шнек виконує функцію живильника, а безпосереднє змішування забезпечує лопатева мішалка. Для введення рідких компонентів передбачено систему форсунок. Смеситель оснащено гідравлічним або механічним варіатором, який дозволяє регулювати частоту обертання робочих органів. Рідкі компоненти подаються за допомогою насоса-дозатора.

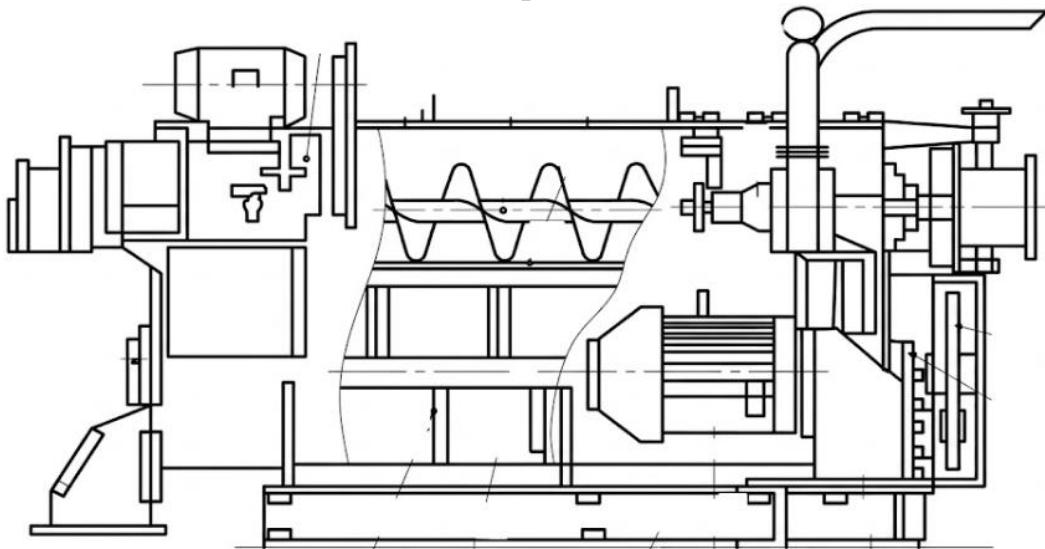


Рисунок 1.9 - Схема лопатево-шнекового змішувача

З сучасних змішувачів у нашому випадку заслуговують на увагу машини, що випускаються компанією «WAMGROUP».

Змішувач безперервної дії серії WAN представлений на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 - Змішувач серії WAN

Змішувач являє собою циліндричний корпус, усередині якого розташовані основний та додаткові робочі органи (рис. 1.10). Корпус має горловину для подачі компонентів, з протилежного боку в торцевій стінці є вивантажувальне вікно із заслінкою, за її допомогою регулюється час змішування.

Основний робочий орган виконаний у вигляді горизонтальної лопатевої мішалки. Край лопаті виконаний у вигляді клина. Додаткові робочі органи (деагломераторів) виконані як ножів, мають частоту обертання 1500...3000 мін⁻¹. Додатково змішувачі можуть бути обладнані системами для введення рідких добавок та підігрівом (термокожухом).

Цікава конструкція дозатора-змішувача сипких матеріалів (рис. 1.11). Дозатор-змішувач сипких матеріалів включає встановлені на рамі 1 робочі органи 2 і 3 у вигляді спіральних гвинтів різного діаметра в кожухах 4 і 5 з приводами 6 і 7 і бункер 8. Один з робочих органів розміщений зі зміщенням по висоті відносно іншого, причому робочий орган 3 з меншим діаметром діаметра. Робочий орган 2 більшого діаметра з одного кінця виконаний виступаючим за зовнішні краї кожуха 4 і забезпечений захисною решіткою 9, а в бункері 8 для сипучих матеріалів встановлена ворошилка 10. Робочий орган меншого діаметра забезпечений патрубком 11, вихідний отвір якого розташований в шкірі. Привід робочого органа меншого діаметра виконаний із можливістю регулювання частоти обертання. Робочий орган меншого діаметра розташований під бункером. У бункері встановлена заслінка 12. Кожух забезпечений вивантажним вікном 13.

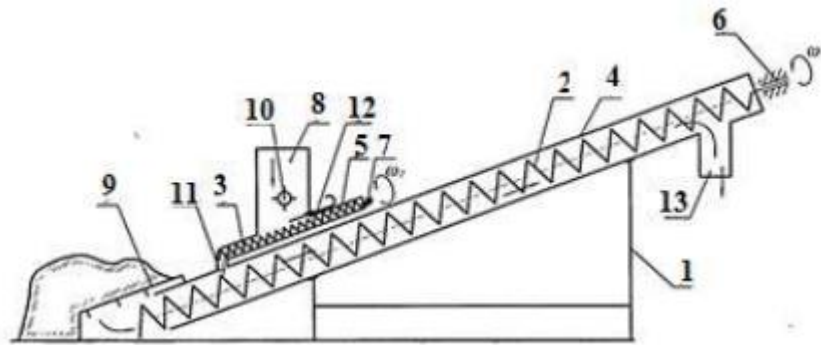


Рисунок 1.11 - Схема спірального дозатора-змішувача:

- 1 - рама; 2, 3 - гвинтові спіралі; 4, 5 - кожухи; 6, 7 - приводи транспортерів;
8 - бункер; 9 - решітка; 10 - руйнівник скупчень; 11 - вивантажувальна горловина; 13 - вивантажувальна горловина; 12 - заслінка.

Особливістю конструкції даного дозатора-змішувача є розташовані один над одним двох спіральних транспортерів різного діаметру. Нижній транспортер має завантажувальну зону з ґратами та вивантажувальну горловину. У нижньому корпусі додатково є горловина, з'єднана з верхнім транспортером. Верхній транспортер має бункер із заслінкою, встановлений на вході.

В даному випадку відбувається дозування лише одного компонента, що подає верхній транспортер. Кількість матеріалу, що подається, регулюється заслінкою встановленою між бункером і верхнім транспортером.

Змішувач-дозатор із спіральним робочим органом, який здійснює змішування. Змішувач-дозатор являє собою трубу, що транспортує, всередині, якого встановлена спіраль. Над трубою, що транспортує, встановлений бункер з

перегородкою, з метою поділу його на дві секції (рис. 1.12). Попередньо секції бункера заповнюються компонентами, потім вони потрапляють у трубу, що транспортує, і змішуються в процесі переміщення їх до вивантажувальної горловини.

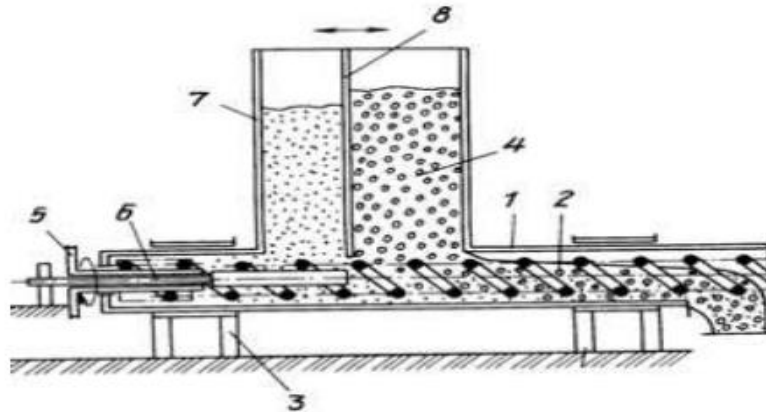


Рисунок 1.12 - Дозатор-змішувач:

1 - корпус, 2 - спіральний транспортер, 3 - рама, 4, 7 - секції бункера, 5 - ремінна передача, 6 - вкладиш, 8 - перегородка бункера.

Оригінальний змішувач Nauta, створений компанією Hosokawa Micron B.V. (Нідерланди). Назва походить від імені інженера Йоганнеса Наути, який у 1939 році винайшов перший конічний шнековий змішувач.

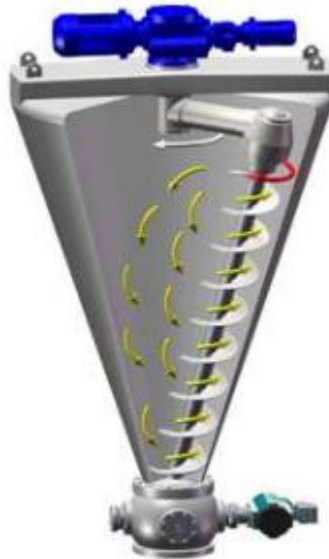


Рисунок 1.13 - Змішувач кормів серії Nauta

У цій конструкції змішувача шнек приводиться у обертання від нижнього мотор-редуктора. Другий кінець шнека має привід через водило від верхнього мотор-редуктора забезпечуючи його рух паралельно стінки конічного корпусу. Дана конструкція змішувача підвищує ефективність змішування за рахунок рециркуляції компонентів, використовуючи їх силу тяжіння.

Дана конструкція має конічний корпус з встановленим по центру валом з спіральною навивкою, до якого прикріплений шнек за допомогою нижньої опори

і верхньої водило. У верхній частині шнека встановлено опорне колесо. Обертання шнека здійснюється за рахунок сили тертя опорного колеса та внутрішньої поверхні корпусу змішувача.

В результаті змішування відбувається за рахунок спільної дії на компоненти центрального валу з навивкою та планетарно встановленого шнека. Змішувач іноземного виробництва з гвинтовими робочими органами пропонує компанія Shanghai Shenyn Machinery Group Co.

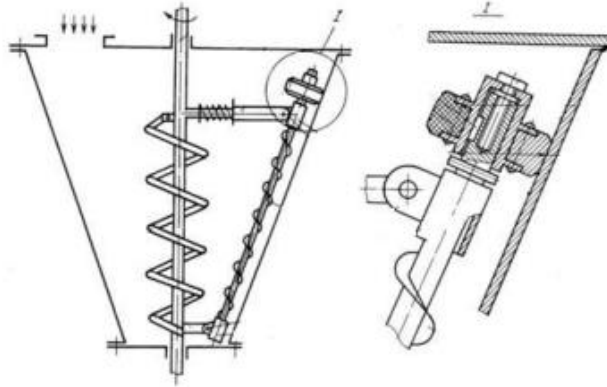


Рисунок 1.14 - Змішувач кормів «Shanghai Shenyn Machinery Group Co».

Відмінною рисою змішувача серії VSH є наявність двох консольних шнеків, закріплених на водилі, встановлених у конічному корпусі (рис. 1.15). Привід шнеків здійснюється від мотор-редуктора через кутові редуктори. Таким чином, перемішування компонентів здійснюється за рахунок планетарного переміщення шнеків та їх обертання навколо осі.



Рисунок 1.15 – Змішувач серії VSH.

Представлені вище технічні засоби, що застосовуються для приготування кормових сумішей та хімічної обробки кормів показав, що практично неможливо використовувати їх для виробництва кукурудзяних кормів.

Проблема використання існуючих технічних засобів приготування кормів полягають переважно у фізико-механічних і теплофізичних властивостях ППКВП. Тому необхідно розробити спеціальний агрегат для обробки згущеного кукурудзяного екстракту лугами з метою зниження його кислотності.

Конструкція повинна дозволяти ефективно використовувати теплову енергію, що виділяється при хімічній реакції взаємодії кукурудзяного екстракту з реагентами з мінімальними втратами у довкілля.

При розробці змішувачів також необхідно враховувати особливості фізико-механічних та теплофізичних властивостей ППКВП. Крім того, ЗКЕ має високу в'язкість, значення якої залежить від навколишньої температури. Необхідно також брати до уваги, що частина побічних продуктів, які можуть використовуватися для кормової суміші, такі як відходи зерна кукурудзи та пелели сухі, а ВКМ має вологість 55...60%. Це ускладнює ефективне їхнє перемішування, особливо зі ЗКЕ, відбувається утворення грудок, що знижує якість кінцевого продукту.

При збільшенні виробництва крохмалю та патоки, а також посилення екологічних вимог проблема утилізації ППКВП нині особлива актуальна. Одним із вирішень цієї проблеми є використання ППКВП як корми сільськогосподарським тваринам. Таким чином, можливо, покращити екологічний стан навколишнього середовища та забезпечити виробників тваринницької продукції кормам, з високим вмістом протеїну, за мінімальної собівартості.

При цьому реалізувати це рішення в даний час практично не є можливим через відсутність відповідних технологій та технічних засобів. ЗКЕ, ВКМ, зерно кукурудзи подрібнене, пелева і макуха кукурудзяна мають високі кормові якості, а так само хорошу засвоюваність.

Частина ППКВП, така як зерно кукурудзи подрібнене, пелева і макуха нині дуже затребуване сільськогосподарськими виробниками. Це пов'язано з тим, що це кормові компоненти тривалого зберігання. Однак у кількісному відношенні їх значно менше, ніж ЗКЕ та ВКМ.

Крім того ЗКЕ має суттєвий недолік через високу кислотність. В даний час ЗКЕ або скидається у відстійники і потім в навколишнє середовище, завдаючи суттєвої шкоди екології, або висушується і використовується як білковий компонент корму, при цьому кількість кислоти в ньому не зменшується. Рівень кислотності ЗКЕ (рН 4,2...4.4), обумовлений наявністю органічних кислот, молочної та фітинової. Тому необхідно розробити технологію, що забезпечує ефективне використання ППКЗП у раціонах годівлі тварин та технічні засоби для її здійснення. Технологія має забезпечувати використання всього комплексу ППКЗП. При цьому кормова суміш повинна мати високу поживну цінність та відповідати всім зоотехнічним вимогам. Модель функціонування технологічної лінії приготування корму з ППКЗП ґрунтується на двох процесах, нейтралізації кислотності ЗКЕ та змішування (рис. 1.16). Параметрами процесу нейтралізації є маса компонентів суміші, хімічні реагенти та їх число, теплофізичні властивості ЗКЕ та готового ВКК, значення рН та температури (Т) та тривалість процесу. Параметрами процесу змішування є фізико-механічні та теплофізичні властивості ППКВП їх масова частка у суміші (m), вологість (СВ). Також

важливими є якісні та кількісні показники однорідності суміші (y) та енергоємність процесу.

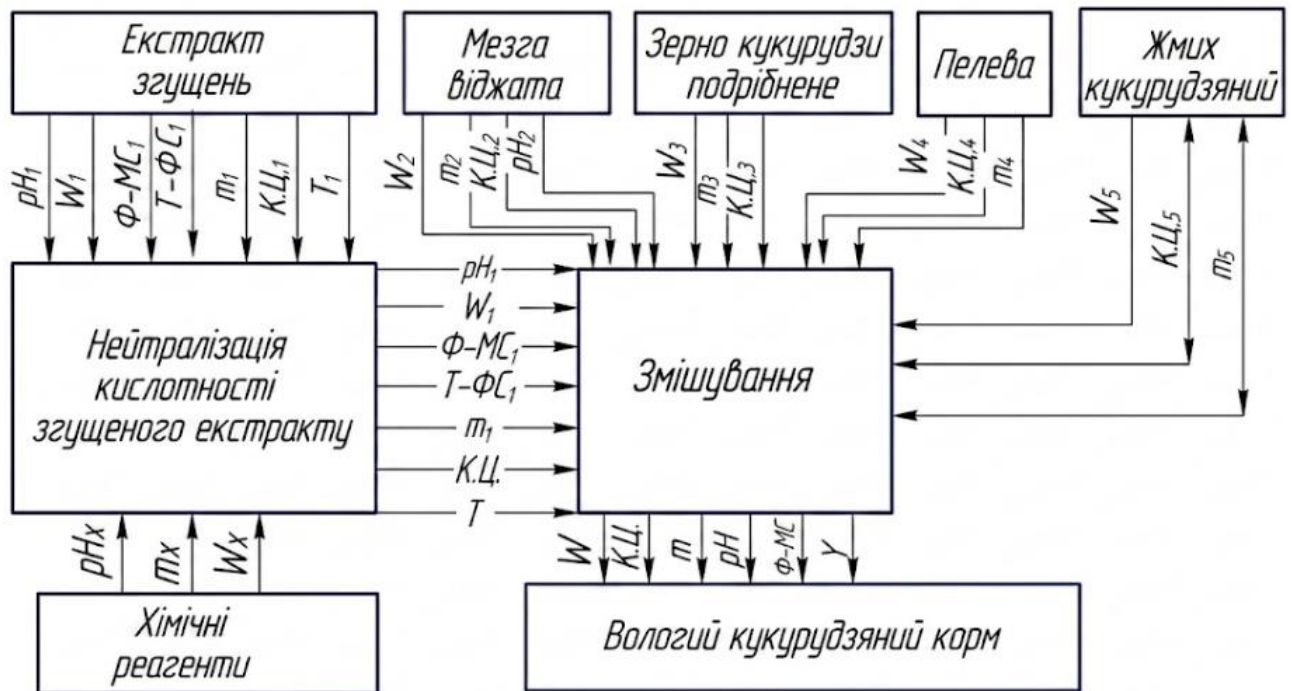


Рисунок 1.16 - Модель функціонування технології приготування ВКК із ППКВП: pH_1 - кислотність екстракту, pH_2 - кислотність мезги, pH_x - кислотність хім. реагентів, pH_3 - кислотність екстракту після нейтралізації, pH - кислотність корму; W_1 - вологість екстракту, W_2 - вологість мезги, W_x - вологість хім. реагентів, W - вологість корму; $\Phi\text{-}M.C_1$ - фізико-механічні властивості екстракту, $\Phi\text{-}M.C_2$ - фізико-механічні властивості мезги, $\Phi\text{-}M.C_3$ - фізико-механічні властивості зерна кукурудзи подрібненого, $\Phi\text{-}M.C$ - фізико-механічні властивості корму; $T\text{-}M.C_1$ - теплофізичні властивості екстракту, $T\text{-}M.C_1$ - теплофізичні корми; m_1 - маса екстракту, m_x - маса хім. реагентів, m_2 - маса віджатої мезги, m_3 - маса зерна кукурудзи подрібненого, m_4 - маса пелєви, m_5 - маса макухи кукурудзяної, m_1 - маса корму; $KЦ_1$ - кормова цінність екстракту, $KЦ_2$ - кормова цінність мезги, $KЦ_3$ - кормова цінність зерна кукурудзи подрібненого, $KЦ_4$ - кормова цінність пелєви, $KЦ_5$ - кормова цінність макухи кукурудзяної, $KЦ$ - кормова цінність корму; T_1 - температура екстракту до нейтралізації, T - температура екстракту після нейтралізації, y - ступінь однорідності суміші

Виходячи з вищевикладеного, метою роботи є підвищення ефективності використання побічних продуктів крохмалепаточних підприємств у кормовиробництві шляхом розробки та обґрунтування технології та технічних засобів приготування кормів із попередньою нейтралізацією кислотності кукурудзяного екстракту.

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПРИГОТУВАННЯ ВКК З ППКВП

2.1 Технології приготування ВКК з ППКВП

Поданий у першому розділі матеріал показав, що проблема використання та утилізації ППКЗП залишається актуальною. З позиції безпеки та безвідходності виробництва найкращим варіантом було б приготування СКК. Однак висушені до рівноважного стану ППКЗП, такі як ОКЕ та ВКМ, мають дуже високу собівартість. Через те, що з основного виробництва вони виходять із високою вологістю і для видалення потрібні значні енергетичні витрати. У нашій країні за порівняно низьких цін на зерно щодо світових, попит на СКК із ППКЗП залишається на досить низькому рівні, що потребує іншого вирішення проблеми. Найбільш простим і ефективним рішенням є приготування з ППКЗП ВКК, що відповідають зоотехнічним вимогам, особливо за кислотністю, яка залежить від кукурудзяного екстракту.

Нейтралізацію кислотності ЗКЕ до показника рН 6,0-7,0 досить проблематично виконати, дотримуючись при цьому зоотехнічних вимог вмісту хімічних сполук у кормах. На підставі вищевикладеного розроблено спосіб приготування ВКК з ППКВП з нейтралізацією кислотності ЗКЕ. Спосіб пояснюється малюнком 2.1 та реалізується наступним чином.

Місткість 1 заповнюється ЗКЕ на 80...85%. Одночасно готуються водні розчини реагентів у ємності 2 гідроксиду кальцію, 3 – гідроксиду натрію. При безперервному перемішуванні ЗКЕ в ємність 1 дозатором насосом 4 подається водний розчин оксиду кальцію. При значенні кислотності рН 5,0-5,2 припиняють подачу. Потім ємність 1 подають гідроксид натрію, контролюючи значення рН ЗКЕ. При значеннях рН 59-63 подачу гідроксиду кальцію припиняють. Нейтралізований ЗКЕ за допомогою дозатора 5 і ВКМ з бункера-дозатора 6 подають змішувач 7 у співвідношенні 1:5,4. Далі готовий ТКК направляють у бункер тимчасового зберігання 8.

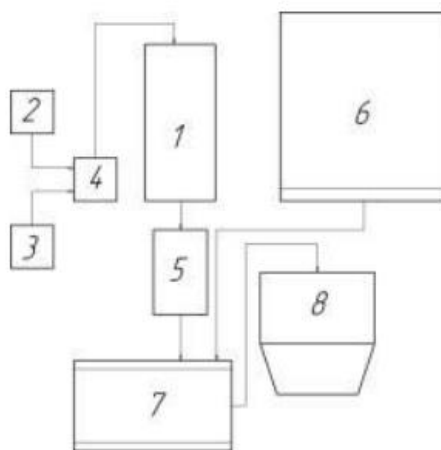


Рисунок 2.1 - Блок-схема способу виготовлення ВКК

З метою підвищення ефективності нейтралізації кислотності ВКК та раціонального використання теплоти, що утворюється в результаті приготування розчинів реагентів, нами була запропонована технологія приготування ВКК.

Відмінною особливістю даної технології є те, що утворена теплота при приготуванні водного розчину реагентів використовується для нагрівання ВКК.

Конструктивно-технологічна схема лінії приготування ВКК із ППКВП представлена рисунку 2.2.

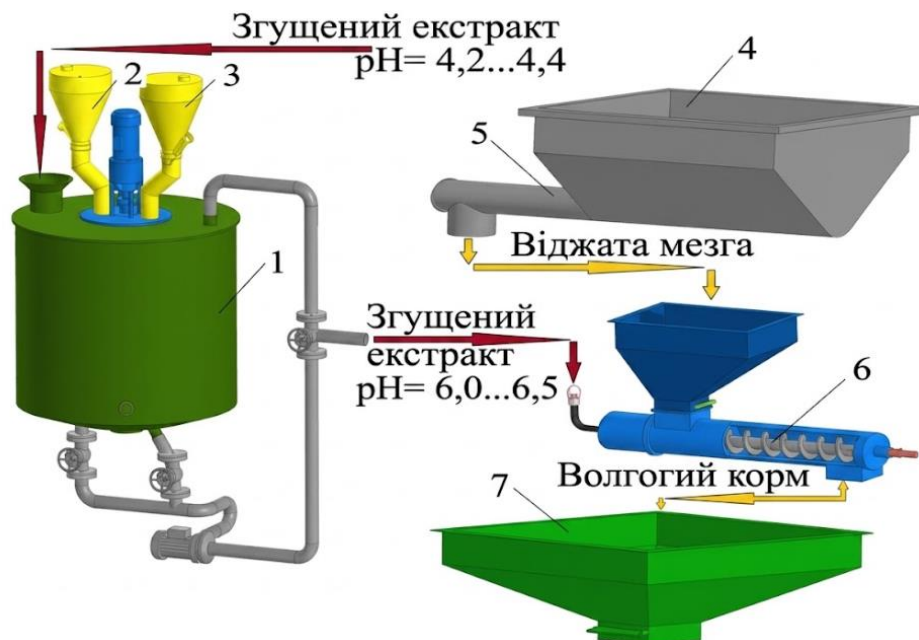


Рисунок 2.2 - Конструктивно-технологічна схема лінії приготування ВКК із ППКЗП:

1 - нейтралізатор ЗКЕ; 2, 3 - бункер-дозатор оксиду кальцію та гідроксиду натрію; 4 - бункер ВКМ; 5 - дозатор ВКМ; 6 - змішувач; 7 - бункер-накопичувач готового ВКК

Для приготування ВКК використовують ЗКЕ ($W=58\%$) і ВКМ ($W=63\ldots65\%$). При цьому необхідні реагенти оксид кальцію і гідроксид натрію з розрахунку 19 кг CaO і 12 кг NaOH на одну тону ЗКЕ.

У нейтралізаторі у присутності ЗКЕ відбувається приготування розчину реагентів шляхом змішування з водою оксиду кальцію та гідроксиду натрію. Теплота, що виділяється, нагріває ЗКЕ, при цьому його в'язкість значно знижується. В результаті змішування водного розчину реагентів із ЗКЕ відбувається нейтралізація, що містяться в ньому органічних кислот. ЗКЕ та ВКМ дозовано подаються до змішувача, готовий ВКК направляється у бункер накопичувач з подальшим відвантаженням у транспортні засоби.

Використання даної технології дозволяє готувати ВКК, що відповідають зоотехнічним вимогам при цьому, за рахунок раціонального використання теплоти, що утворюється, для нагрівання ЗКЕ знизити витрати виробництва. Задля реалізації запропонованої технології приготування ВКК необхідно розробити основні технічні засоби.

2.2 Технічні засоби для впровадження розробленої технології

При розробці нейтралізатора кислотності ЗКЕ велике значення приділяється обліку його фізико-механічних властивостей і тепловому ефекту від хімічних реакцій, що протікають при нейтралізації.

Підвищення температури згущеного кукурудзяного екстракту призводить до зменшення значень його в'язкості та липкості. У діапазоні температур від 45 до 55°C значення липкості згущеного кукурудзяного екстракту досягає мінімуму. Тому раціональним рішенням буде нагрівання згущеного кукурудзяного екстракту до зазначеної температури, це дозволить зменшити його кінематичну та динамічну в'язкість, а також знизити липкість.

Як було викладено вище внаслідок хімічних реакцій оксиду кальцію та гідроксиду натрію з водою виділяється тепла енергія. Її слід ефективно використовувати для підігріву згущеного кукурудзяного екстракту та забезпечення якісного процесу нейтралізації його кислотності з мінімальними витратами.

Розглянуті особливості були враховані розробки нейтралізатора кислотності ЗКЕ. Таким чином, запропонована конструкція нейтралізатора, що є теплообмінним апаратом, що складається з двох циліндричних ємностей розташованих одна в іншій концентрично.

Простір, утворений стінками внутрішнього та зовнішнього циліндрів, призначений для ЗКЕ. Простір внутрішнього циліндра призначений для виготовлення водного розчину реагентів. Передача теплоти відбуватиметься через стінку внутрішнього циліндра, тому вона повинна мати мінімальну товщину. Для скорочення теплових втрат нейтралізатор необхідно теплоізолювати.

В результаті екзотермічних хімічних реакцій при приготуванні водного розчину реагентів у внутрішній ємності нейтралізатора теплота, що виділяється, дозволить нагріти згущений кукурудзяний екстракт, що знаходиться в зовнішній ємності на 13...15°C. Конструктивно-технологічна схема нейтралізатора представлена на рисунку 2.3.

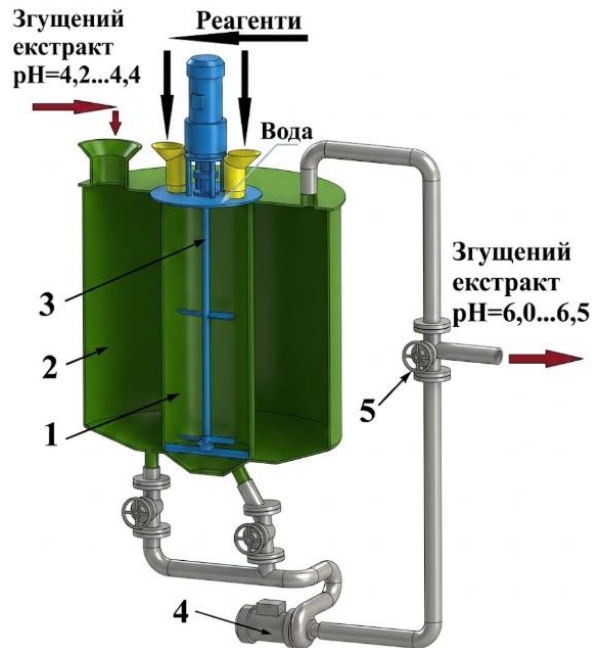


Рисунок 2.3 - Конструктивно-технологічна схема нейтралізатора ЗКЕ.

- 1 - ємність для приготування водного розчину реагентів; 2 - ємність для ЗКЕ;
3 - лопатевий вал; 4 - насос-змішувач; 5 - триходовий кран

У ємності 1, 2 заливається вода та ЗКЕ відповідно. Потім ємність 1, при постійному перемішуванні лопатевим валом 3 подають реагенти, з розрахунку 19 кг СаО і 12 кг NaOH на одну тону ЗКЕ. В результаті хімічних реакцій теплота, що утворюється, нагріває ЗКЕ. Далі водний розчин реагентів та ЗКЕ надходять у насос-змішувач 4, який перекачує їх у ємність 2. При змішуванні відбувається хімічна взаємодія гідрооксидів кальцію та натрію з органічними кислотами ЗКЕ і як результат їх нейтралізація. При положенні триходового крана 5, забезпечує вивантаження ЗКЕ, він видаляється насос-змішувачем 4.

Якість змішування кормів оцінюється однорідністю суміші. Тому при приготуванні ВКК необхідно ЗКЕ рівномірно розподілити по всьому об'єму ВКМ. Проблема змішування ЗКЕ та ВКМ полягає у різній структурі даних продуктів. Перший – в'язка рідина, другий – кашоподібний. Додатковою перешкодою при змішуванні є залишковий крохмаль, що знаходиться у клейстеризованому вигляді.

З урахуванням вищевикладеного розроблено конструкцію змішувача з комбінованим шнеко-лопатевим робочим органом. Ця конструкція змішувача дозволяє подавати ЗКЕ безпосередньо в зону змішування, рівномірно розподіляючи його по всьому об'єму. Конструкція розробленого шнеко-лопатєвого змішувача пояснюється малюнком 2.4.

Відмінною особливістю розробленого змішувача є його робочий орган. Він комбінований - шнеколо-пасний і має порожню центральну трубу. Лопаті робочого органу також порожнисті, на кінцях мають жиклери.

При обертанні робочий орган здійснює додатково зворотно-поступальні рухи. У торці корпусу змішувача встановлено камеру ЗКЕ з мембраною. Переферійна частина мембрани закріплена між корпусом змішувача і камерою ЗКЕ, а в центрі вона має опору підшипникову в яку встановлений робочий орган. Камера ЗКЕ з'єднана з накопичувальною ємністю та має зворотний клапан. Таким чином, камера ЗКЕ, мембрана і зворотний клапан виконують роль насоса (далі по тексту мембранний насос).

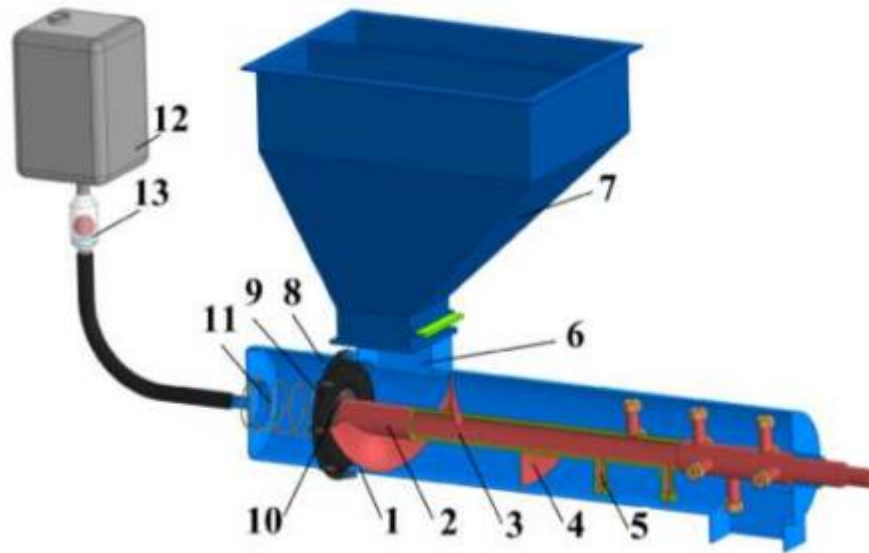


Рисунок 2.4 - Конструктивна схема змішувача:

- 1 - корпус; 2 - робочий орган; 3 - вал порожнистий; 4 - конвеєр шнековий;
 5 - лопата порожниста; 6 - вхідна горловина; 7 - бункер; 8 - камера ЗКЕ;
 9 - мембрана; 10 - опора; 11 - пружина; 12 - ємність накопичувальна ЗКЕ;
 13 - зворотний клапан

Змішування ЗКЕ та ВКМ здійснюється наступним чином. Накопичувальна ємність заповнюється нейтралізованою ЗКЕ, при цьому відбувається заповнення камери ЗКЕ. При обертанні робочого органу ВКМ забирається з бункера та переміщається до зони змішування. При цьому робочий орган та мембрана подолання дії пружини переміщуються у бік камери ЗКЕ, створюючи в ній надлишковий тиск. Зворотний клапан закривається і ЗКЕ через порожню трубу, лопаті та жиклери надходить у зону змішування.

Поворотно-поступальний рух робочого органу змішувача відбувається через змінну площу зіткнення шнекової навивки і як наслідки сили опору при транспортуванні ВКМ. За один оборот робочий орган здійснює один зворотно-поступальний рух. Розроблена конструкція змішувача дозволяє рівномірно розподіляти ЗКЕ по всьому об'єму ВКМ в зоні змішування.

Технологія виробництва крохмалю із кукурудзи передбачає початковим етапом сортування зерна. Метою сортування є відокремлення цілого зерна від пошкодженого, таким чином одержують зерновідходи з вологістю 12...14%. При

переробці зародка кукурудзяного зерна утворюється олія та макуха. Вологість кукурудзяної макухи при виході з виробництва 8...9%.

Крім того, на деяких підприємствах, що в основному належать закордонним компаніям, організовано спільне сушіння кукурудзяного екстракту та мезги з метою виключення екологічних збитків при утилізації цих ППКЗП.

На підставі вище сказаного для приготування СКК тривалого зберігання нами пропонується схема технологічної лінії, представлена на рисунку 2.5.

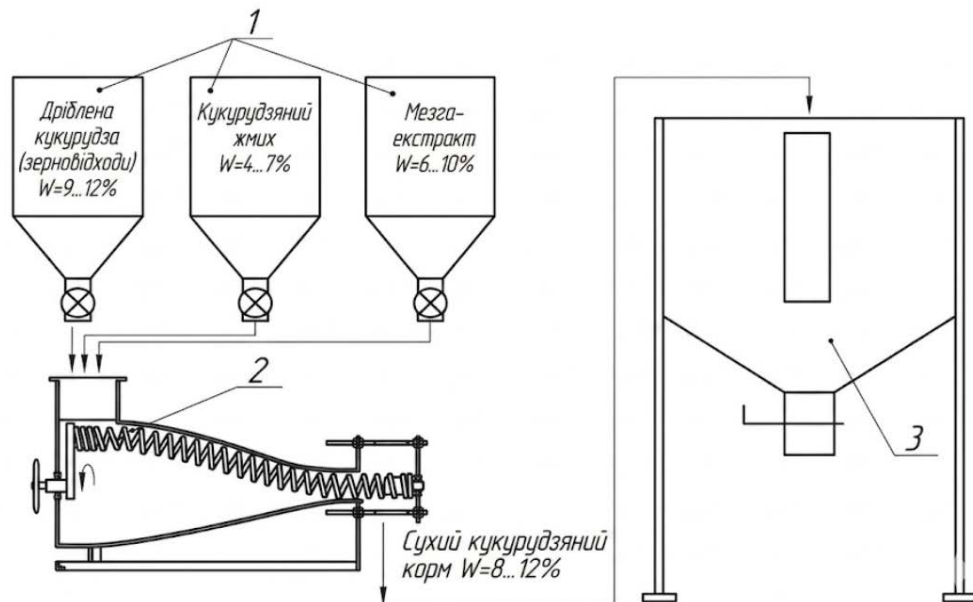


Рисунок 2.5 - Конструктивно-технологічна схема лінії приготування СКК: 1 - бункери дозатори компонентів; 2 - змішувач; 3 - бункер накопичувач кукурудзяного корму тривалого зберігання

Використання цієї технологічної лінії передбачає використання ППКЗП з вологістю не вище 14%, при цьому рН сухого ЗКЕ має бути в діапазоні 6,0...6,3. При використанні сухого ЗКЕ без попередньої нейтралізації до цієї технологічної лінії необхідно додати бункери-накопичувачі та дозатори для реагентів.

Приготування СКК полягає в дозованій подачі компонентів з подальшим їх змішуванням. Отримана в такий спосіб кормова суміш є цінним білково-вуглеводним кормом. Він може бути реалізований споживачеві в розсипному, фасованому вигляді, або з наступним гранулюванням.

Основним процесом технологічної лінії виготовлення кормів тривалого зберігання є змішування.

Для реалізації процесу змішування, з урахуванням фізико-механічних властивостей використовуваних компонентів, розроблено конструктивно-технологічну схему змішувача зі спіральним робочим органом, конструктивно технологічну схему спірального змішувача представлено на рисунку 2.6.

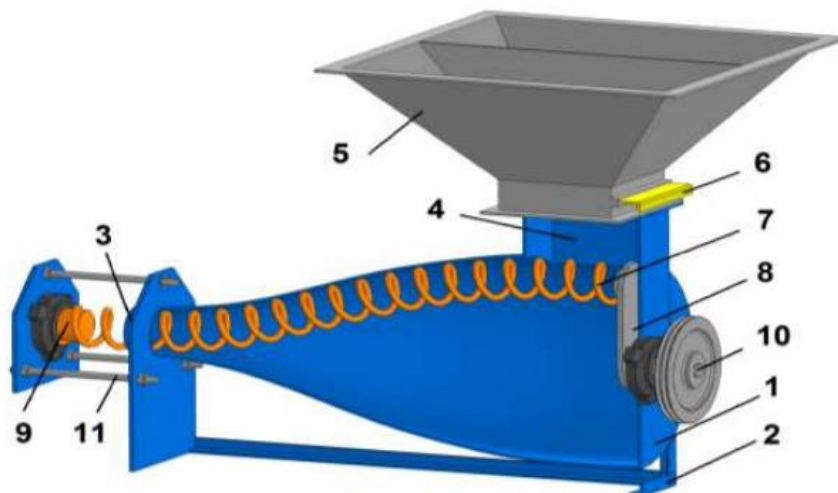


Рисунок 2.6 - Спиральний змішувач:

1 - корпус, 2 - рама, 3, 4 - вивантажувальна та завантажувальна горловини, 5 - бункер-накопичувач, 6 - заслінка, 7 - спіраль, 8 - ексцентрик, 9 - ведена цапфа, 10 - ведуча цапфа, 11 - натяжний пристрій

Відмінною особливістю конструкції розробленого змішувача є його робочий орган, що являє собою циліндричну спіраль з веденою та ведучою цапфами, встановлену в конусоподібному корпусі. На ведучій цапфі спіраль встановлена через водило. Це забезпечує спіралі складний рух. Спіраль обертається навколо своєї осі, при цьому її основна частина додатково здійснює рух паралельно конічному корпусу.

Регулювання продуктивності змішувача здійснюється шляхом зміни кроку спіралі, для цього є механізм, встановлений на веденій цапфі.

Розроблена конструкція спірального змішувача дозволить здійснити змішування використовуваних компонентів з мінімальними енергетичними витратами, при цьому забезпечити необхідну однорідність суміші.

2.3 Теоретичне обґрунтування процесів та параметрів технічних засобів приготування кормів із ППКВП

2.3.1 Теоретичне обґрунтування процесу нагрівання в нейтралізаторі

Для розробленої конструкції нейтралізатора кислотності ЗКЕ (рис. 2.3) складемо рівняння теплопровідності.

Приймаємо температуру середовища в заданій точці з координатами в момент часу $t(x, y, z, t)$.

Припустимо, що розглянуте середовище є ізотропним, тоді щільність, питома теплоємність і коефіцієнт теплопровідності в заданій точці (x, y, z) будуть виглядати як $\rho(x, y, z)$, $c(x, y, z)$ і $k(x, y, z)$ відповідно. Інтенсивність джерела тепла в точці (x, y, z) позначимо момент часу як $F(x, y, z, t)$.

Отже, функція $u=u(x, y, z, t)$ відображає рівняння розподілу тепла:

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = \operatorname{div}(k \cdot \operatorname{grad} u) + F \quad (2.1)$$

За умови однорідності досліджуваного середовища параметри c, ρ та k є постійними.

За умови відсутності в однорідному тілі джерел тепла $F(x, y, z, t) = 0$ рівняння теплопровідності матиме вигляд:

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2.2)$$

Щоб розв'язати диференціальне рівняння, необхідно визначити початкові та граничні умови.

Початкова умова - розподіл температури в початковий момент часу:

$$u|_{t=t_0} = u_0(x, y, z) \quad (2.3)$$

Гранична умова - це тепловий режим на межі розділення середовищ S . Отже, граничну умову можна задати таким чином: - у точці поверхні задається температура:

$$u|_S = u_1 \quad (2.4)$$

де: u_1 - функція заданої точки поверхні S та часу t , визначається тепловий потік q на поверхні S ;

$$-k \frac{\partial u}{\partial n} \Big|_S = q \quad (2.5)$$

де: n - зовнішня нормаль до поверхні S .

При нульовому потоці, у випадку теплоізолюваної поверхні, граничну умову можна представити так:

$$\frac{\partial u}{\partial n} \Big|_S = 0. \quad (2.6)$$

Для спрощення завдання передачі тепла припустимо, що теплообмін відбувається за законом Ньютона.

На поверхні тіла відбувається теплообмін з навколишнім середовищем, температура u_1 яка відома. Закон теплообміну є досить складним, але для спрощення задачі його можна розглядати як закон Ньютона, згідно з яким кількість тепла, що передається за одиницю часу з одиниці площі поверхні в навколишнє середовище, пропорційна різниці температур поверхні тіла та навколишнього середовища u_1 :

$$q = h(u - u_1), \quad (2.7)$$

де h - коефіцієнт, що характеризує теплообмін.

u, u_1 - температура поверхні тіла та навколишнього середовища, відповідно. Коефіцієнт h залежить від багатьох факторів, але далі зробимо припущення та вважатимемо його постійною величиною.

Згідно із законом збереження енергії, граничні умови:

$$\left[k \frac{\partial u}{\partial n} + h(u - u_1) \right] \Big|_S = 0 \quad (2.8)$$

Отже, з урахуванням прийнятих припущень, виконання поставленого завдання щодо поширення тепла в ізотропному твердому тілі представляється як розв'язання рівняння теплопровідності, яке при цьому задовольняє початкову умову

$$u|_{t=t_0} = u_0(x, y, z)$$

При введенні системи ортогональних криволінійних координат розв'язання поставленої задачі спрощується. Це дозволяє значно спростити формулювання початкових умов і використовувати при розв'язанні метод розділення змінних. Введемо систему циліндричних координат (рис. 2.7).

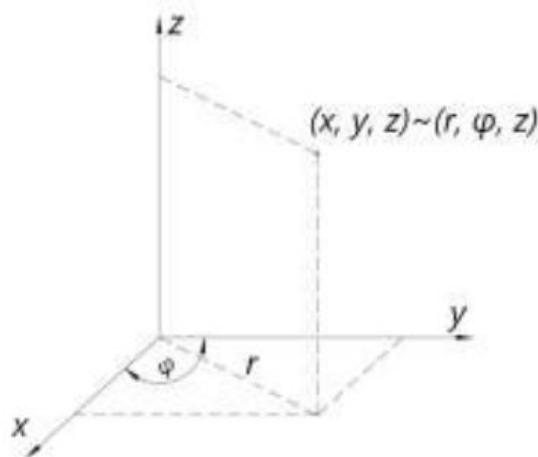


Рисунок 2.7 - Циліндрична система координат

У циліндричних координатах оператор Лапласа Δ має вигляд

$$c \cdot \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2.9)$$

Завдання полягає у визначенні температури складеної труби за умови: теплообмін із навколишнім середовищем, температура якого u_1 відбувається за законом Ньютона, початкова температура - $u_0(r, z, t)$, і торцеві поверхні труби ізольовані.

Таким чином, задача зводиться до визначення функції

$$u = u(r, z, t) = \begin{cases} u_1(r, z, t), & r_1 \leq r \leq r_2, \\ u_2(r, z, t), & r_1 \leq r \leq r_2, \end{cases} \quad (2.11)$$

Приймаємо для $j=1,2$, щільність (ρ_j), коефіцієнт внутрішньої теплопровідності (k_j) та питома теплоємність (c_j) як постійні величини. початкова умова

$$u|_{t=t_0} = u_0(r, z) \quad (2.12)$$

При нульовому тепловому потоці на нижній торцевій поверхні циліндра,

$$\left[k_1 \frac{\partial u}{\partial (-r)} + h_1 (u - u_1) \right]_{r=r_1} = 0 \quad (2.14)$$

де h_1 - коефіцієнт теплообміну на внутрішній поверхні циліндра, та u_1 - температура всередині циліндра.

На внутрішній стороні циліндра $\bar{n} = -\bar{r}$; (рис. 2.9).

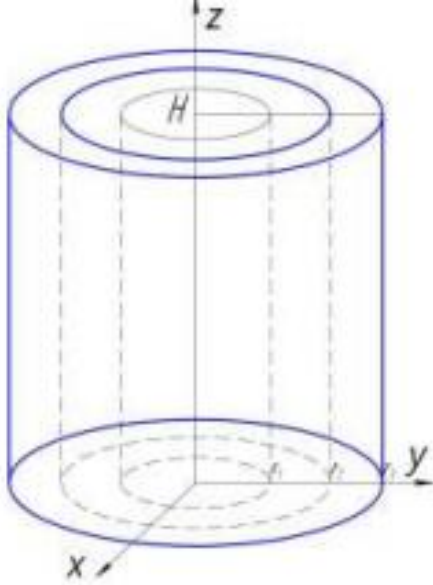


Рисунок 2.8 - Схема нейтралізатора

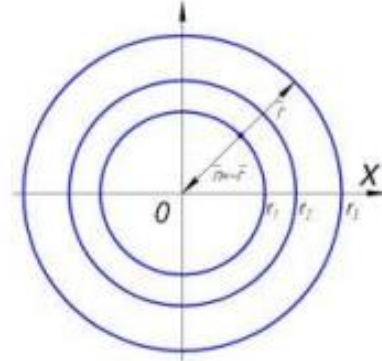


Рисунок 2.9 - Схема нейтралізатора (вид зверху)

Подальше розв'язання задачі проводимо методом розділення змінних. Таким чином, маємо результат розв'язання - рівняння, яке дозволяє визначити температуру в потрібній точці у заданий момент часу.

$$\begin{aligned} u(r, z, t) = & u_1 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\delta_{on} - \frac{ru_1 h_1 R_{1on}(r_1)}{\sigma_n^{(o)} \|R_{on}\|^2} \right] e^{-\sigma_n^{(o)} t} R_{on}(r) + \\ & + \sum_{m=1}^{\infty} \left[\sum_{n=1}^{\infty} e^{-\sigma_n^{(o)} t} R_{mn}(r) \right] \cos\left(\frac{\pi m z}{H}\right), \quad (2.15) \\ \delta_{mn} = & \frac{2}{H \|R_{mn}\|^2} \cdot \int_{r_1}^{r_2} \int_0^H r u(r, z) R_{mn}(r) \cos\left(\frac{\pi m z}{H}\right) dz dr \end{aligned}$$

Для визначення необхідних коефіцієнтів отриманого виразу (2.15) проведено дослідження фізико-механічних та теплофізичних властивостей ЗКЕ. У результаті дослідження встановлено числові значення коефіцієнтів теплопровідності та теплоємності, а також щільності ЗКЕ. При цьому під час розрахунку коефіцієнтів було враховано розміри виготовленого лабораторного макета нейтралізатора ЗКЕ: висота макета $H=0,4\text{м}$, радіус внутрішнього та зовнішнього циліндрів $r_1=0,04\text{м}$ и $r_2=0,105\text{м}$, відповідно, при цьому $r_2=r_1+\delta$.

За відомих коефіцієнтів та спростивши отриманий вираз до трьох доданків, отримали вираз для визначення температури у заданій точці (u) залежно від товщини стінки внутрішнього циліндра (δ) та часу нагрівання (t).

У лабораторній моделі під час дослідження процесу нагрівання ЗКЕ використовувалися змінні внутрішні циліндри з товщиною стінки (δ) рівною 1,0; 1,5 і 2 мм. Таким чином, у кінцевому варіанті отримали шуканий вираз для товщини стінки внутрішнього циліндра 1,0; 1,5 і 2 мм.

$$u(2,0,t) = 70 - 17,9e^{-0,072t} - 22,1e^{-0,015t} \quad (2.16)$$

За наведеними наближеними формулами можна обчислювати температури в нейтралізаторі в заданій точці залежно від товщини стінки внутрішнього циліндра та часу нагрівання. Отримані вирази (2.16) дозволяють визначати температуру ЗКЕ в нейтралізаторі при товщині внутрішнього циліндра 1,0; 1,5 і 2,0 мм залежно від часу нагрівання. Ці залежності дають можливість розрахувати конструктивно-технологічні параметри нейтралізатора ЗКЕ.

2.3.2 Теоретичне обґрунтування технологічного процесу шнеково-лопатевого змішувача

Конструктивна схема шнеково-лопатевого змішувача представлена на рисунку 2.4. Як було описано вище, розроблений змішувач має комбінований шнеково-лопатевиий робочий орган. Під час роботи він обертається та додатково здійснює зворотно-поступальні рухи вздовж своєї осі, забезпечуючи подачу ЗКЕ в зону змішування. Продуктивність розробленого шнеково-лопатевого змішувача складається безпосередньо з подачі ВКМ (Q_1) та подачі ЗКЕ (Q_2).

$$Q = Q_1 + Q_2, \text{ кг / с} \quad (2.17)$$

Для визначення продуктивності за ВКМ існує відомий вираз для подібних машин:

$$Q_1 = v_{cp} \psi \varphi (D_H^2 - d_s^2) \gamma_1, \text{ кг / с} \quad (2.18)$$

де v_{cp} - середня осьова швидкість частинки у змішувачі, м/с;

D_H - діаметр шнекової намотки робочого органу, м;

d_s - діаметр внутрішньої труби робочого органу, м;

$\psi \varphi$ - коефіцієнти коригування та заповнення, відповідно;

γ_1 - об'ємна маса ВКМ, кг/м³.

Для визначення продуктивності змішувача за ЗКЕ відомий вираз:

$$Q_2 = V n \gamma_2, \text{ кг / с} \quad (2.19)$$

де V - обсяг ЗКЕ, що подається за один оберт робочого органу, м³;

n - частота обертання робочого органу, с⁻¹;

γ_2 - щільність ЗКЕ, кг/м³.

У результаті вираз можна записати:

$$Q = v_{cp} \psi \varphi (D_H^2 - d_s^2) \gamma_1 + V n \gamma_2, \text{ кг / с} \quad (2.19)$$

У цьому виразі є невідома величина - це осьова швидкість руху ВКМ (v_{cp}). Визначити осьову швидкість за відомими виразами неможливо, що пов'язано зі складним рухом робочого органу.

Тому для визначення (v_{cp}) буде розглянуто рух матеріальної точки в розробленому змішувачі.

На основі розробленої конструкції змішувача приймемо математичну модель робочого органу у вигляді прямої гелікоїди, при $a = \frac{\pi}{2}$, утворену променем (L) (рис. 2.10). Обертання променя відбувається з постійною швидкістю відносно нерухомої осі (OO'). При цьому вісь перетинається під кутом α . Крім того, відбувається поступальний рух вздовж осі з постійною швидкістю.

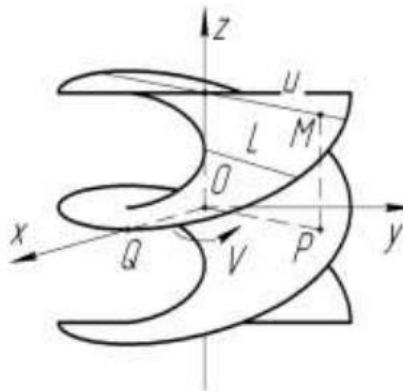


Рисунок 2.10 - Шнекове намотування

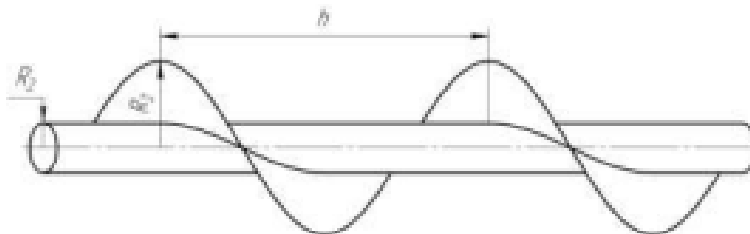


Рисунок 2.11 - Схема робочого органу змішувача (частина зі шнековим намотуванням)

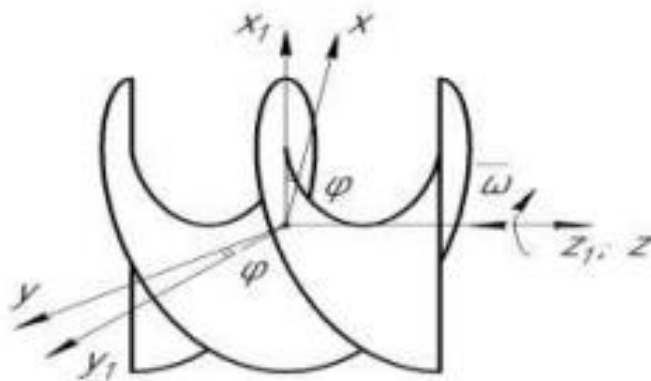


Рисунок 2.13 - Схема відносного руху частинки по шнеку

За один оберт змішувана маса переміститься на відстань, що дорівнює кроку шнекової намотки S . При цьому, під час осьового переміщення шнека в бік подавального пристрою екстракту, змішуваний матеріал також повернеться назад на величину амплітуди A . У результаті за один оберт шнека змішувана маса переміститься на відстань $S-A$. Виходячи з рисунку 2.18, початкова фаза визначається як:

$$\sin \alpha = \frac{S-A}{R} \quad (2.20)$$

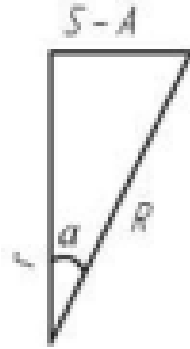


Рисунок 2.14 - Схема для розрахунку початкової фази коливань

Визначимо R через r та $S-A$. За теоремою Піфагора знайдемо R :

$$\sin \alpha = \frac{S-A}{R} = \frac{S-A}{r \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{S-A}{r}\right)^2}} \quad (2.21)$$

Крім того, виходячи з конструкції змішувача, частота коливань (Ω) відповідає частоті обертання шнека, тобто:

$$n = \Omega \quad (2.22)$$

Раніше було прийнято позначення: частота обертання - n , а крок гвинтової намотки - S .

$$v'(t) = n, \quad b = S \quad (2.23)$$

Отримаємо остаточну середню осьову швидкість переміщення маси в змішувачі

$$v_c = S \cdot n - A \sin\left(nt + ar \sin \frac{S-A}{r \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{S-A}{r}\right)^2}}\right) \cdot n, \text{ м / с} \quad (2.24)$$

Аналіз отриманої формули для визначення середньої осьової швидкості переміщення ВКМ у шнеко-лопатевому змішувачі залежить від його конструктивних параметрів, частоти обертання та амплітуди коливання робочого органу. Визначення подачі мембранного насоса ЗКЕ. Подача ЗКЕ в зону змішування шнеко-лопатєвого змішувача здійснюється пристроєм, що працює за принципом мембранного насоса, коливання мембрани відбувається за рахунок робочого органу змішувача, що здійснює осьові поворотно-проступні рухи.

Робимо припущення мембрана пристрою подачі ЗКЕ - плоска. Обсяг ЗКЕ, що подається при одному переміщенні робочого органу змішувача визначається як, знайдемо як об'єм зрізаного конуса за винятком об'єму цапфою.

$$V = V_k - V_u, \text{ м}^3 \quad (2.25)$$

де: V_k - об'єм, що утворюється при згинанні мембрани (усічений конус)), м^3

V_u - обсяг опори робочого м^3 .

Знайдемо V_k як:

$$V_k = \frac{1}{3} \pi h (r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2), \text{ м}^3 \quad (2.26)$$

де r_1, r_2 - відповідно радіуси камери пристрою подачі ЗКЕ та опори робочого органу змішувача, м;

h - висота конуса, м.

Об'єм опори робочого органу змішувача визначимо за формулою:

$$V_u = \pi r_1^2 h, \text{ м}^3 \quad (2.27)$$

Виходячи з конструкції пристрою подачі ЗКЕ, величина h визначається амплітудою коливання робочого органу змішувача:

$$h = A, \text{ м} \quad (2.28)$$

На підставі цього, перетворивши вираз (2.25), отримаємо:

$$V = \pi A \left(\frac{r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2}{3} - r_1^2 \right), \text{ м}^3 \quad (2.29)$$

Отже, з урахуванням отриманого виразу (2.29) набуде такого вигляду:

$$Q_2 = \pi A n \gamma_2 \left(\frac{r_1^2 + r_1 \cdot r_2 + r_2^2}{3} - r_1^2 \right), \text{ кг / с} \quad (2.30)$$

З отриманого виразу (2.30) впливає, що продуктивність пристрою подачі згущеного екстракту, за заданих геометричних розмірів, прямо пропорційна частоті обертання шнека-змішувача та амплітуді його коливань.

Висновки з другого розділу

1. Розроблена технологія приготування ВКК з ППКВП полягає в нейтралізації кислотності ЗКЕ ($W=58\%$) водним розчином гідроксидів кальцію та натрію та подальшому змішуванні його з ВКМ, ($W= 63...65\%$) у співвідношенні 1:6,4. В результаті теоретичних досліджень встановлено що для нейтралізації зниження рН з 3,9 до 6,3 одного кілограма ЗКЕ вологістю 58% буде потрібно 0,012 кг гідроксиду натрію і 0,019 кг оксиду кальцію.

2. Розроблена конструкція нейтралізатора ЗКЕ складається з двох співвісно встановлених циліндричних ємностей, які пов'язані між собою та насосом трубопроводом. Зовнішня ємність призначена для ЗКЕ, а внутрішня з осьовою мішалкою для приготування розчину реагентів. Конструкція нейтралізатора дозволить використовувати теплоту, утворену внаслідок хімічних реакцій приготування розчину реагентів для нагрівання ЗКЕ.

3. Розроблена конструкція шнеко-лопатевого змішувача складається з циліндричного корпусу з камерою ЗКЕ з мембраною, завантажувальної та вивантажувальної горловин, робочого органу, який являє собою шнекову навівку і порожнисті лопаті, закріплені на трубі. При цьому порожнини лопат через трубу повідомлені з камерою ЗКЕ. Робочий орган встановлений на опорах, що забезпечують обертальний рух та зворотно-поступальний, закріплених на торцевій стінці корпусу змішувача та мембрані.

4. Розроблена конструкція спірального змішувача складається з конусоподібного корпусу із завантажувальної та вивантажувальної горловин, циліндричної спіралі, провідної та веденої цапф із підшипниковими опорами, водила. Навідній цапфі спіраль встановлена на водило нерухомо, щодо своєї осі, а на веденій – з можливістю обертання. При обертанні робоча частина спіралі визначає конус. Продуктивність змішувача регулюється зміною кроку спіралі з допомогою осьового переміщення веденої цапфи.

5. Теоретично встановлено, що середня швидкість руху маси у спіральному змішувачі залежить від величини ексцентриситету, частоти обертання та кроку спіралі. Продуктивність спірального змішувача залежить від його геометричних параметрів, середньої швидкості руху та фізико-механічних властивостей СКК.

3. ПРОГРАМИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма досліджень фізико-механічних властивостей ППКВП

Розроблена технологія приготування ВКК із ППКЗП передбачає змішування ВКМ та ЗКЕ з попередньою нейтралізацією його кислотності, у пропорції 6,4:1. Для цієї технології необхідно розробити відповідні технічні засоби. Для обґрунтування технологічних та конструктивних параметрів нейтралізатора кислотності та змішувачів необхідно дослідити фізико-механічні властивості ВКМ та ЗКЕ. При визначенні параметрів нейтралізатора кислотності потрібні знання теплофізичних властивостей ЗКЕ. Тому програма досліджень полягає у визначенні наступних залежностей:

- кінематичної та динамічної в'язкості ЗКЕ від температури;
- липкості ЗКЕ від температури;
- кута природного укусу та об'ємної маси СКК, подрібненого кукурудзяного зерна та макухи;
- вологості на статичний та динамічний коефіцієнтів тертя СКК, подрібненого кукурудзяного зерна та макухи по сталі;
- Коефіцієнтів теплопровідності, температуропровідності та теплоємності ЗКЕ і СКК від вмісту сухих речовин.

3.2 Методики дослідження фізико-механічних та теплофізичних властивостей ППКВП

Кінематичну в'язкість визначали за допомогою віскозиметра ВЗ-246 з каліброваним соплом шляхом вимірювання часу витікання заданого об'єму ЗКЕ (рис. 3.1 і 3.2).

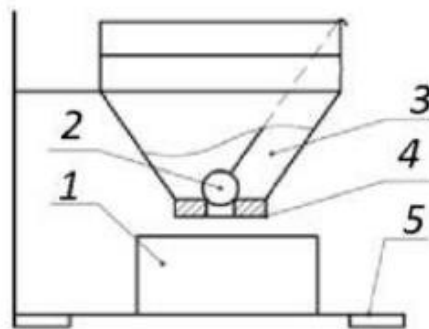


Рисунок 3.1 - Схема віскозиметра:

- 1 - ємність для ЗКЕ; 2 - кулька сопла; 3 - ємність віскозиметра; 4 - сопло;
5 - штатив

Послідовність проведення досліджень. При закритому носіку віскозиметра наповнювали ємність віскозиметра з надлишком, який згодом видаляли за допомогою скляної пластини. Віскозиметр поміщали в нагрівальну шафу і витримували двадцять хвилин при заданій температурі. Потім видаляли

запірну кульку і за допомогою електросекундоміра СЕД-1М визначали час витікання ЗКЕ. Дослід проводили з п'ятикратною повторністю.

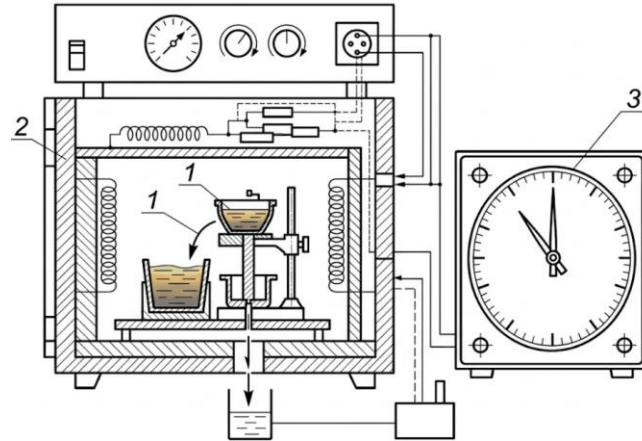


Рисунок 3.2 - Схема лабораторної установки для визначення в'язкості ЗКЕ:
1 - віскозиметр ВЗ-246; 2 - нагрівальна шафа; 3 - електросекундомір СЕД-1М

Показники щільності ЗКЕ визначали за допомогою ареометра. Дослідження кінематичної та динамічної в'язкості ЗКЕ з вологістю 58 % проводили при зміні температури від 20 до 90°C.

3.2 Визначення впливу температури на клейкість

Використовуваний прилад для визначення вологості є чашковими вагами, одна чаша яких це сталевий диск з відшліфованою поверхнею. На другу чашу встановлюється колба для води. Чаші приладу врівноважені. Лабораторна установка складається з ємності для ЗКЕ 1, диска 2 з нижньою відшліфованою поверхнею, ємності для води 3 з краном 4 і колби 5 (рис. 3.3). Загальний вид установки показаний рисунку 3.4 Порядок проведення експерименту наступний. Поміщали 100 г ЗКЕ в ємність 1 і нагрівали до заданої температури в діапазоні від 10 до 100°C. Встановлювали ємність 1 на лабораторну установку та переміщали диск 2 до зіткнення з поверхню ЗКЕ. Потім з ємності 3 шляхом відкриття 4 крана заповнювали колбу 5 водою. При відриві диска 2 поверхні ЗКЕ кран 4 закривали.

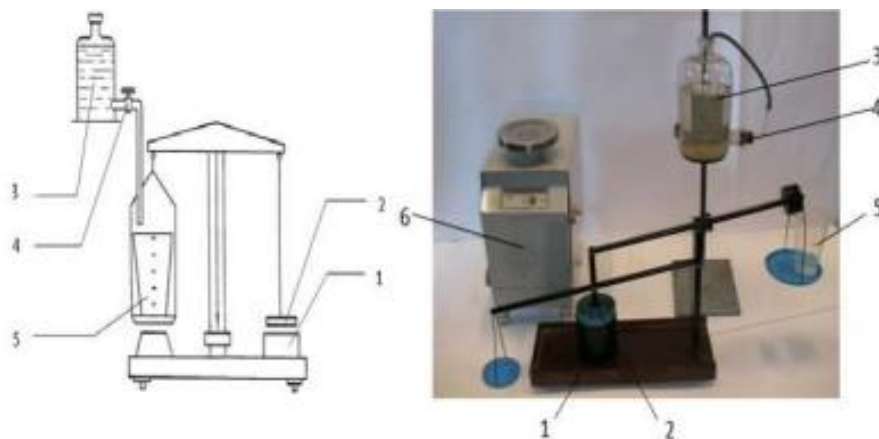


Рисунок 3.3 - Схема та загальний вигляд установки для визначення липкості СК

3.3. Дослідження впливу вологості на теплофізичні властивості ППКВП

Знання чисельних значень теплофізичних властивостей ППКЗП та його залежність від вмісту води необхідні обґрунтування конструктивно-режимних параметрів технічних засобів приготування СКК. Тому нами виконано дослідження з вивчення теплофізичних властивостей ЗКЕ та СКК.

Установка (рис. 3.7) для дослідження теплофізичних властивостей ЗКЕ і ВКК складається з мультиметра (DT-9205A) 1, ванни 2, температурного датчика (ДТ-1) 3, штока 4, зонда 5 з датчиком температури (ДТ-2) 6, мультиметра (В7-38) 8 і 7 і 7. з теплоізолюваного матеріалу та має співвідношення розмірів довжини до ширини - 5:1. Розмір зонда 5 60×30мм та виготовлений з алюмінієвого листа товщиною 1,5 мм. Роль температурних датчиків виконували мікротерморезистори МТ-54М. Відстань між температурними датчиками (ДТ-1) 3 та (ДТ-2) 6 було встановлено дослідним шляхом. Для цього використовували еталонний матеріал - очищений річковий пісок з розмірами частинок 0,5 ... 2,0 × 10-2, теплофізичні властивості якого відомі. Змінюючи відстань між датчиками фіксували максимальну температуру нагріву (ДТ-2). Потім проводили розрахунки теплофізичних показників та порівнювали їх з еталонними значеннями. В результаті було встановлено відстань між температурними датчиками, що дорівнює 1,5×10⁻²м, при цьому час проведення досвіду в середньому становив 0,4 години.

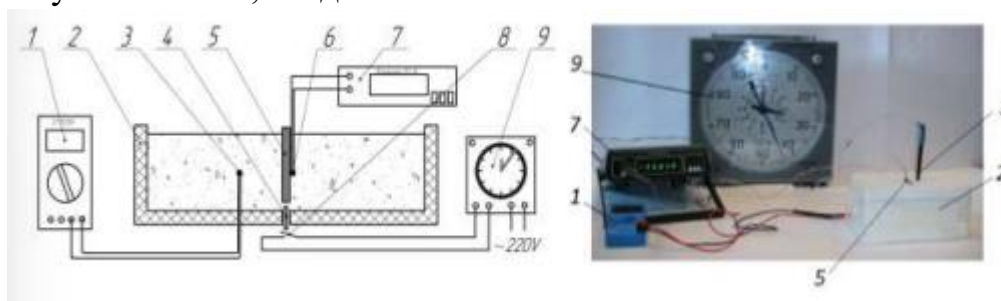


Рисунок 3.7 - Принципова схема та загальний вигляд установки для дослідження теплофізичних властивостей ППКВП

порядок виконання досліджень. Ванну 1 заповнювали досліджуваним продуктом. Зонд 5 нагрівали і витримували при заданій температурі п'ять хвилин, потім вставляли його у ванну з продуктом, при цьому відбувалося включення електричного секундоміра 9 і починався відлік часу. При цьому фіксували 158 показники температури датчиків (ДТ-2) 6 та (ДТ-1) 3 відповідно мультиметрами (В7-38) 7 та (DT-9205A) 1. Досвід припиняли при досягненні продуктом максимальної температури.

3.4. Лабораторна установка для дослідження технологічного процесу нейтралізатора ЗКЕ

Для виконання програми експериментальних досліджень було виготовлено макет нейтралізатора ЗКЕ. У другому розділі цієї роботи представлений конструктивно-технологічний опис нейтралізатора ЗКЕ. На рисунку 3.8 представлено загальний вигляд макета нейтралізатора ЗКЕ.

Макет нейтралізатора ЗКЕ складається з рами 1, теплообмінника 2, електродвигуна з мішалкою 3, насоса-змішувача 4, кранів запірної арматури 5, 6, 7, 8 та трубопроводу 9. Теплообмінний апарат макета (рис.3.9) виготовлений з нержавіючої сталі. Він складається з внутрішнього 1 і 2 зовнішнього циліндрів, які встановлені співвісно з утворенням двох камер внутрішньої і міжстінної. Таким чином, камери мають загальну поверхню циліндричну.

Внутрішня камера призначена для виготовлення розчину реагентів, міжстінна для ЗКЕ. Теплообмінний апарат забезпечений патрубками, розташованими в днищі 3 і 4 з'єднаними відповідно з внутрішньою камерами. У верхній частині теплообмінний апарат забезпечений патрубком 5, з'єднаним з міжстінною камерою. Зовнішня поверхня теплообмінного апарату теплоізовльована 6. Конструкцією теплообмінного апарату передбачена можливість заміни внутрішнього циліндра завтовшки стінки: 0,001, 0,0015 та 0,002 м (рис. 3.10). Насос 4 макета нейтралізатора (3.8) призначений для циркуляції ЗКЕ та його змішування з розчином реагентів.

Дослідження процесів нагрівання, змішування та нейтралізації кислотності ЗКЕ проводили на виготовленій на підставі макета нейтралізатора лабораторній установці, функціональна схема та загальний вигляд якої представлено на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – Макет нейтралізатора макета ЗКЕ

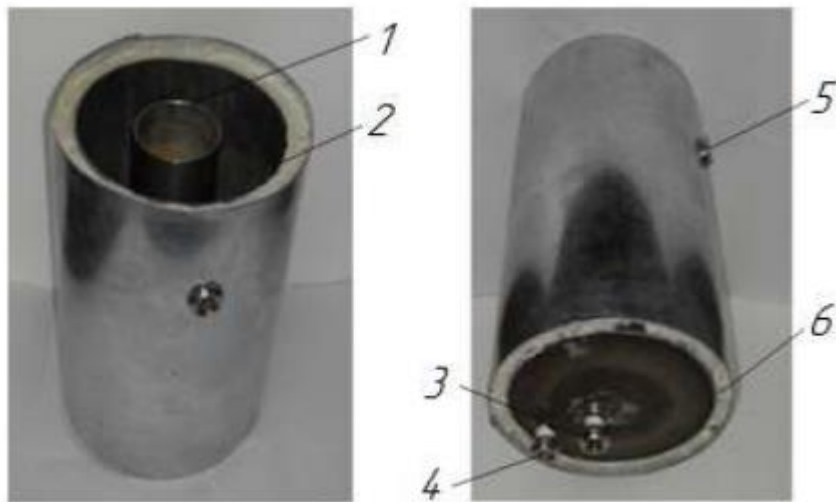


Рисунок 3.9 - Теплообмінний апарат

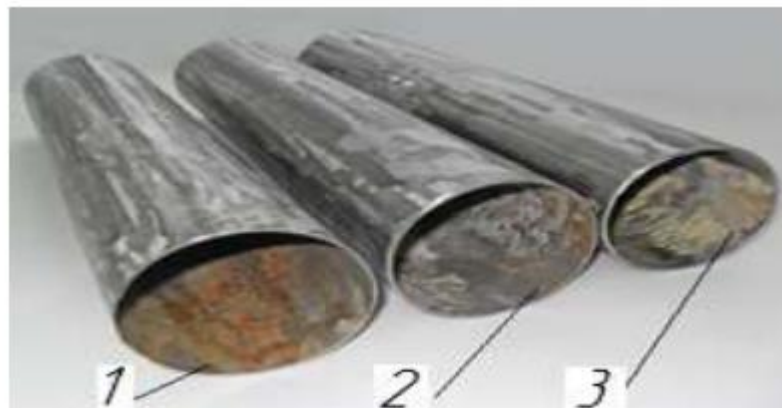


Рисунок 3.10. - 1, 2, 3 внутрішні циліндри 0,001; 0,0015 та 0,0020 мм відповідно

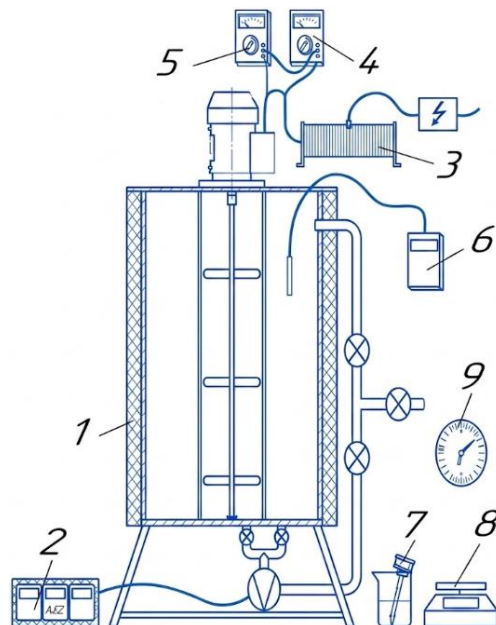


Рисунок 3.11 - Функціональна схема лабораторної установки для дослідження процесів нагрівання та нейтралізації ЗКЕ

Призначення приладів контролю: споживання енергії електродвигуна мішалки, внутрішньої камери нейтралізатора ЗКЕ, насоса-змішувача –

амперметр 4 та ватметр 5 (рис. 3.8) та електровимірювальний прилад К-50 2 відповідно, температура – електричний термометр М-838 6, кислотність ЗКЕ 3 - секундомір (рис. 3.11). Масу ЗКЕ та реагентів визначали на вагах ВСП – 0,5-1.

Послідовність виконання досліджень. Міжстінну камеру макета нейтралізатора заповнювали на 75% ЗКЕ. У внутрішній камері готували водний розчин реагентів. На один кілограм ЗКЕ використовували 19 гр оксиду кальцію та 12 гр гідроксиду натрію. При дослідженні процесу нагрівання ЗКЕ визначали час та температуру нагрівання. Дослідження процесу нейтралізації кислотності ЗКЕ полягало у визначенні часу, температури та рН ЗКЕ. Зміна факторів проводили наступним чином: товщину стінки внутрішнього циліндра шляхом його заміни (рис. 3.10), зміна частоти обертання мішалки - реостатом 3 (рис. 3.8), подачу насоса-змішувача при циркуляції ЗКЕ - краном 7 (рис. 3.12).

У цих дослідженнях використовували ЗКЕ вологістю 56...60% та початковою температурою 28...32°C. За виконання цих досліджень експерименти мали п'ятикратну повторність. Методика визначення залежності часу нагрівання ЗКЕ від товщини стінки внутрішнього циліндра нейтралізатора. Теоретичними дослідженнями доведено, що на процес нагрівання ЗКЕ за рахунок теплоти від хімічних реакцій приготування розчину реагентів дуже впливає товщина стінки внутрішнього циліндра нейтралізатора. Від товщини стіни залежить час і температура нагрівання СКЗ. Варто враховувати, що паралельно з нагріванням відбувається охолодження ЗКЕ, тому в даному випадку слід прагнути до мінімальної товщини стінки внутрішнього циліндра. З іншого боку, товщина стінки внутрішнього циліндра повинна забезпечувати його міцність, у цій конструкції варто враховувати, що щільності розчину реагентів та ЗКЕ суттєво відрізняються.

В даний час у ряді робіт дано обґрунтування та конкретні рекомендації товщини стінки подібних конструкцій теплообмінних апаратів 0,4...0,6 мм. Для обґрунтування товщини стінки, внутрішнього циліндра лабораторного макета нейтралізатора нами було проведено інженерний розрахунок. На підставі якого мінімальна товщина стінки, що забезпечує міцність конструкції нейтралізатора ЗКЕ повинна бути не менше 1мм. При проведенні досліджень даний фактор був прийнятий від 0,001 до 0,002 м з кроком 0,0005 м. Як описано вище було виготовлено три змінні внутрішні циліндри з товщиною стінки 0,001, 0,0015 і 0,002 м, якими забезпечили діапазон варіювання даного фактора. При дослідженні процесу визначали час та температуру нагрівання ЗКЕ за різної товщини стінки внутрішнього циліндра. Показники часу та температури вели з моменту подачі реагентів у внутрішню камеру нейтралізатора. За виконання досліджень здійснювали п'ятикратну повторність дослідів.

Методика визначення залежності часу нагріву ЗКЕ від подачі насоса. Насос-змішувач 4 (рис. 3.8) забезпечує циркуляцію ЗКЕ при нагріванні та змішування його з розчином реагентів. Подача насоса-змішувача впливає процес нагрівання ЗКЕ, оскільки дозволяє забезпечувати його циркуляцію по

замкнутому колу. Виходячи з того, що насос-змішувач виконує дві функції циркуляцію ЗКЕ та його змішування з розчином реагентів, при теоретичному обґрунтуванні подачу насоса-змішувача визначали за умови мінімального часу змішування. Тобто водний розчин реагентів повинен бути змішаний із ЗКЕ за його мінімальної в'язкості, яка досягається при температурі 49...50°C. В результаті встановлено, що подача насоса має бути $8,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. В результаті діапазон варіювання фактора подача насоса-змішувача становив $6,3 \times 10^{-6} \dots 10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, кроком його зміни $2,0 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. Послідовність виконання досліджень.

Міжстінну камеру макета нейтралізатора заповнювали ЗКЕ. У внутрішній камері готували розчин реагентів. Встановивши необхідну подачу насоса-змішувача, фіксували температуру ЗКЕ з періодичністю 120 с. Також визначали максимальну температуру нагрівання екстракту. Подачу насоса-змішувача при циркуляції ЗКЕ встановлювали за допомогою крана 7 (рис. 3.8), попередньо протарували і встановили шкалу важеля управління.

При приготуванні розчину реагентів та змішуванні його із ЗКЕ в нейтралізаторі відбуваються екзотермічні хімічні реакції. За рахунок теплової енергії, що виділяється, здійснюється нагрівання ЗКЕ. Спочатку ЗКЕ нагрівається за рахунок теплоти, що виділяється при приготуванні розчину реагентів і додатково при його змішуванні з ЗКЕ. В результаті даних досліджень було встановлено залежність зміни кислотності (рН) та температури ЗКЕ при його змішуванні з розчином реагентів залежно від інтенсивності подачі насоса нейтралізатора.

Для виконання цих досліджень використовували лабораторну установку (рис. 3.11), при цьому використовували внутрішній циліндр макета нейтралізатора із товщиною стінки 1 мм.

За виконання зовнішній циліндр макета нейтралізатора заповнювали ЗКЕ. Після цього у внутрішньому циліндрі готували розчин реагентів. Закінчення нагрівання ЗКЕ визначали стабілізацією його температури. Далі змішували розчин реагентів із ЗКЕ, встановивши при цьому необхідну подачу насоса макета нейтралізатора, діапазон зміни становив від $6,3 \times 10^{-6}$ до $10,3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. Для визначення значень температури ЗКЕ застосовували термометри М-838, при цьому датчики розмістили в зовнішньому циліндрі нейтралізатора, на верхньому середньому і нижньому рівнях. Фіксували показання кожного термометра та обчислювали середню температуру.

Кислотність ЗКЕ визначали рН-метром, при цьому відбирали кілька проб ЗКЕ з об'єму зовнішнього циліндра нейтралізатора, потім визначали середнє значення. Виміри температури та рН ЗКЕ проводили через кожні дві хвилини, відлік часу вели від початку змішування водного розчину реагентів та ЗКЕ.

3.5. Лабораторна установка для дослідження процесу змішування ВКМ

Геометричні розміри макета шнеко-лопатевого змішувача були визначені на підставі технологічних параметрів та заданої продуктивності в діапазоні 1,30-1,42 кг/с. Загальний вигляд макета шнеко-небезпечного змішувача та його пристрій показаний на рисунках (3.12-3.17). Конструкція макету шнеко-лопатевого змішувача наступна. Циліндричний корпус 1, встановлений на рамі 2 і має робочий орган 3, який передається крутний момент від мотор-редуктора 4 по засобах цепнуй передачі. На завантажувальну горловину 5 змонтований бункер ВКМ 6. З торців корпус змішувача 1 забезпечений мембранним насосом ЗКЕ 7, з'єднаний шлангом 8 з ємністю 9 і зворотним пристроєм 11 робочого органу, встановленими відповідно в районі горловини 5 і вивантажувального вікна 10. 3.13. На трубі 1 послідовно встановлені гвинтова навивка 2 і порожнисті лопаті 3. Труба 1 має цапфи, провідну 4 і ведену 5. Порожнини лопатей 3 1 труби і веденої цапфи 4 повідомлені між собою. Ведена цапфа 5 встановлена в підшипниковій опорі 6, яка має мембрану 7 затиснутої периферії в корпусі пристрою подачі ЗКЕ 7 (рис 3.12). Дана конструкція шнеко-лопатевого змішувача забезпечує обертальний та зворотно поступальний рух робочого органу щодо своєї осі. Поворотно-поступальне переміщення приводить в роботу пристрій ЗКЕ, що подає.

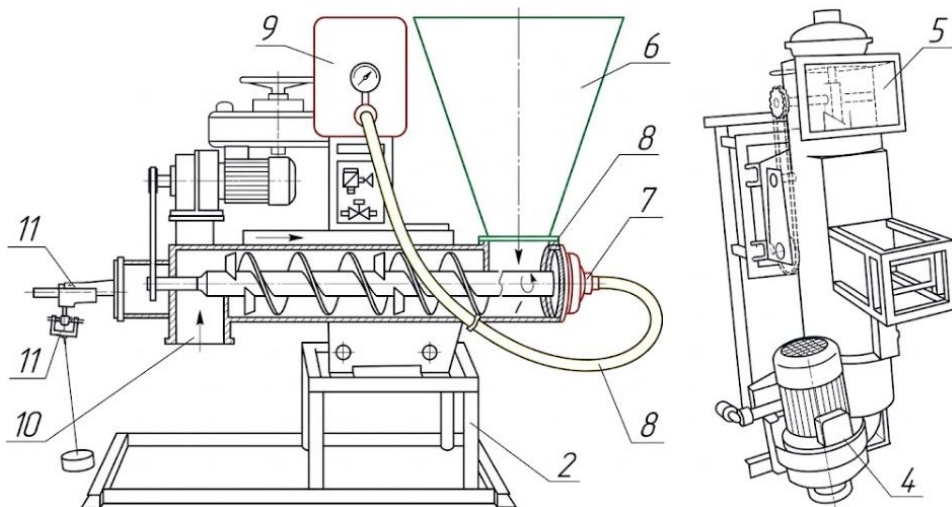


Рисунок 3.12 - Схема шнеково-лопатевого змішувача

Лопаті 1, встановлені на трубі робочого органу по гвинтовій лінії, виконані порожнистими (рис. 3.14). Вони складаються з трубки 2 і жиклера 3. Складання трубки та жиклера здійснюється за допомогою різьбового з'єднання. Для зміни пропускної спроможності мембранного насоса виготовлені комплекти жиклерів із заданими діаметрами отворів (рис. 3.15). Мембранний насос ЗКЕ представлений рисунку 3.16 і складається з корпусу 1, кришки 2, мембрани 3 з підшипниковою опорою 4 і порожнистої цапфи 5. Поворотний пристрій шнеко-лопатевого змішувача 11 (рис 3.12) представлено рисунку 3.17. Цей пристрій встановлений на змішувач з метою визначення маси вантажу для забезпечення

максимальної амплітуди коливання робочого органу. Поворотний пристрій складається з кронштейна 1, ролика 2, троса 3, склянки 4, блоку 5, стрижня 6 та вантажів 7. Трос 3 закріплений одним кінцем на склянці 4, встановленому на цапфі 5 іншим – на стрижні 6.

Принцип роботи макету шнеко-лопатевого змішувача. Бункер 6 (рис. 3.12) заповнюється ВКМ, яка надходить через завантажувальну горловину всередину корпусу змішувача. З ємності 8 по шлангу 9 надходить у мембранний насос ЗКЕ 17. Гвинтовою навивкою 3, ВКМ переміщається в зону лопатей, що змішують. Крутний момент на робочий орган змішувача передається через ланцюгову передачу від мотор-редуктора 4. Привід мембранного насоса ЗКЕ здійснюється за рахунок зворотно-поступального руху робочого органу змішувача шнеко-лопатєвого, шляхом впливу на мембрану 3 через підшипникову опору 4 (рис 3.13).

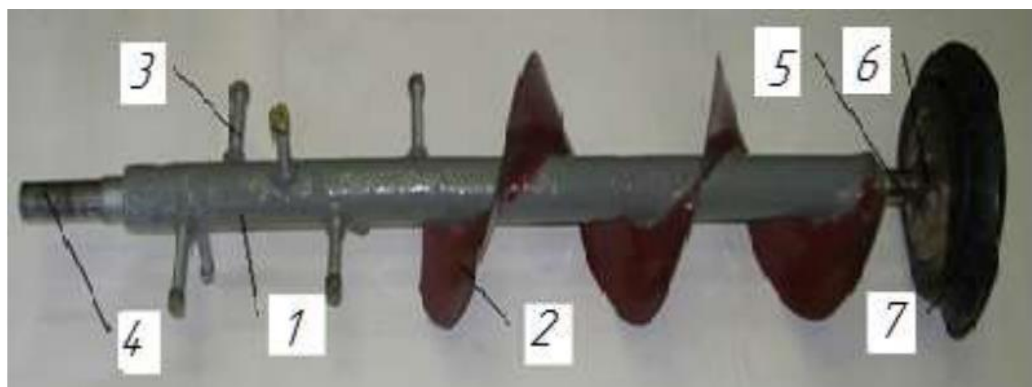


Рисунок 3.13 - Робочий орган



Рисунок 3.14 - Лопаті



Рисунок 3.15 - Жиклери



Рисунок 3.16 – Мембранний насос ЗКЕ



Рисунок 3.17 - Поворотний механізм шнеково-лопатевого змішувача

На гвинтову навивку робочого органу діє сила опору, що виникає під час переміщення ВКМ. Досягаючи свого максимуму при максимальному зануренні гвинтової навивки у ВКМ, при цьому переміщуючи робочий орган змішувача у напрямку мембранного насоса ЗКЕ. При подальшому обертанні робочого органу площа зіткнення гвинтової навивки з ВКМ і як наслідок сила опору зменшуються. Під впливом сили тяжкості вантажу зворотного пристрою робочий орган переміщається у напрямку, убік вивантажувального вікна. За один оборот робочий орган здійснює одне вагання.

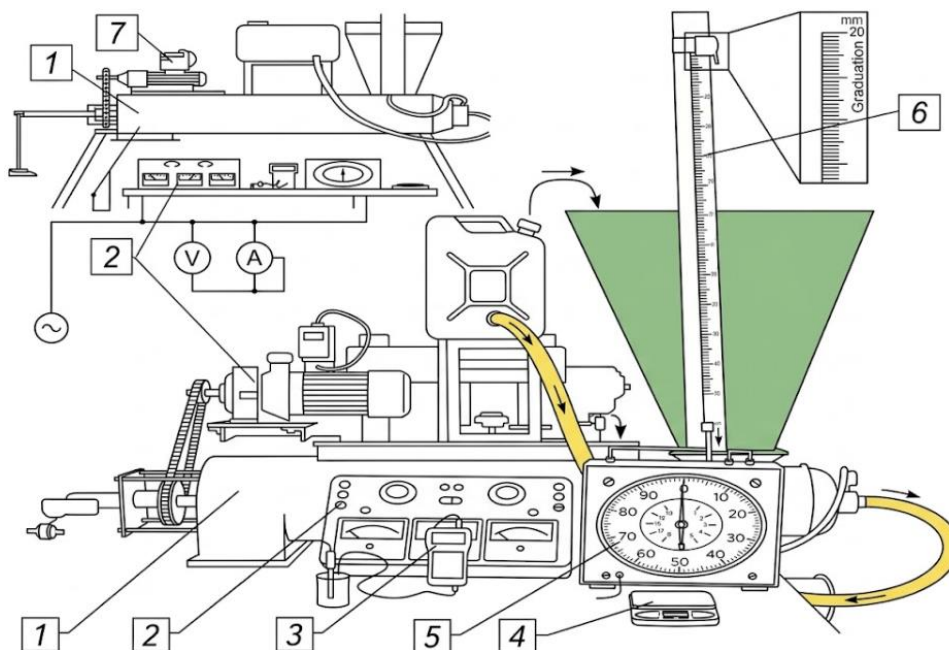


Рисунок 3.18 - Технічна схема лабораторної установки для дослідження процесу змішування ВКМ та ЗКЕ

Таким чином, мембранний насос через порожнини робочого органу і лопатей, що змішують, подає ЗКЕ в зону змішування. Тому ЗКЕ рівномірно розподіляється в камері, що змішує. Додатково розроблена конструкція шнеко-лопатєвого змішувача забезпечує пропорційну подачу ВКМ і ЗКЕ в камеру змішування.

Лабораторна установка включає в себе: макет шнеко-лопатєвого змішувача 1, електровимірювальний прилад (К-50) 2, кондуктомер 3, ваги (ВСП-0,5-1) 4, секундомір 5, п'єзометр 6, перетворювач частоти електричного струму (DELTA VFDL 3,0). використаний перетворювач частоти DELTA VFDL - 3,0kW встановлений в електричний 172 ланцюг приводу макету шнеко-лопатєвого змішувача. Попередньо було встановлено залежність частоти обертання робочого органу від зміни частоти електричного струму (рис.3.19).

Критерієм якості приготування кормів із ППКВП є ступінь однорідності суміші ЗКЕ та ВКМ. В даний час існує багато способів визначення ступеня однорідності кормової суміші. У дослідженнях нами був використаний опосередкований спосіб визначення однорідності суміші ЗКЕ та ВКМ заснований на зміні електропровідності матеріалу, із застосуванням кондуктометра.

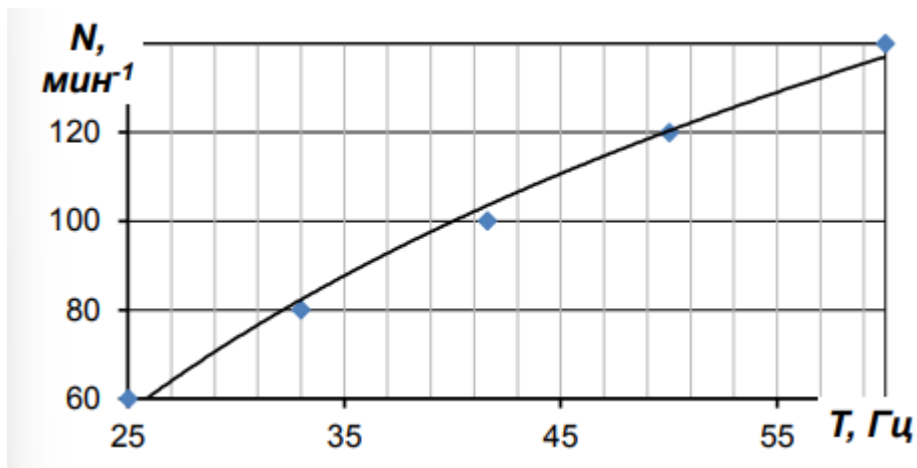


Рисунок 3.19 - Графічна залежність частоти обертання робочого органу змішувача від частоти електричного струму

На процес змішування ВКМ і ЗКЕ в макеті шнеко-лопатевого змішувача впливає велика кількість факторів: геометричні параметри, кількість і розташування лопаток, що змішують, частота обертання і амплітуда коливань робочого органу, маса вантажу зворотного пристрою та інші. Вплив багатьох вищеперелічених чинників досить глибоко вивчені зарубіжними та українськими вченими, у їхніх працях викладено конкретні рекомендації щодо обґрунтування оптимальних конструктивно-технологічних параметрів подібних машин. У даному випадку вважаємо за необхідне дослідити вплив факторів, діаметр жиклерів змішувальних лопатей, частоти обертання та амплітуди коливання робочого органу, які виникли внаслідок оригінальності конструкції розробленого макета шнеко-лопатевого змішувача.

З метою визначення оптимальних режимів процесу змішування ЗКЕ та ВКМ та конструктивних параметрів шнеко-лопатевого змішувача було необхідно дослідити взаємний вплив факторів, що цікавлять.

Макет шнеко-лопатевого змішувача з урахуванням технологічних вимог крохмалопаткового виробництва та забезпечує продуктивність $1,30 \dots 1,42 \text{ кг/с}$. Теоретично встановлено, що при встановлених геометричних розмірах для забезпечення необхідної продуктивності розробленого змішувача частота обертання робочого органу повинна становити $1,3 \dots 2,0 \text{ с}^{-1}$.

Цей показник підтверджено результатами однофакторного експерименту. Для діапазону зміни фактора частота обертання робочого органу шнеко-лопатевого змішувача прийнято від $1,3$ до $2,0 \text{ с}^{-1}$ інтервалом варіювання - $0,3 \text{ с}^{-1}$.

3.6 Програма досліджень процесу приготування СКК

Процес приготування СКК з ППКВП полягає у змішуванні ВКМ, подрібненого зерна та макухи, вологість не перевищує 14% , у відповідному співвідношенні $75 \times 10 \times 15\%$.

Спіральні змішувачі широко застосовують у різних галузях і зокрема кормоприготуванні. Процес змішування у подібних змішувачів досить добре досліджено російськими та іноземними вченими. Досягнуті результати досліджень дозволяють оцінити вплив факторів на процес змішування у спіральних змішувачах. Однак у розробленій оригінальній конструкції з'являється новий фактор - величина ексцентриситету установки кінця спіралі, який в свою чергу вплине на якість суміші, продуктивність і енергоємність змішувача.

Передбачає визначення залежності впливу на продуктивність та енергоспоживання спірального змішувача;

- частоти обертання спіралі;
- величини ексцентриситету установки спіралі на провідній цапфі;
- кроку спіралі.

Макет спірального змішувача має корпус 1 у формі усіченого конуса з горловинами в підставі завантажувальної 2, розташованої хордіально і вивантажувальної 3, утвореної при усіченні його вершини, пристрій регулювання продуктивності 4, за рахунок зміни кроку спіралі і робочий орган 5. Крутний момент на робочий орган передається від мотора. Макет змішувача змонтований на рамі 7. Завантажувальна горловина 2 має бункер 8 з шиберною заслінкою 9. На рисунку 3.21 представлений корпус макета спірального змішувача. Робочий орган макета спірального змішувача, представлений на рисунку 3.24, складається з провідної цапфи 1, ексцентрика 2, спіралі 3 і веденої цапфи 4. Оригінальність конструкції полягає в установці спіралі на провідній цапфі ексцентрично. Таким чином, забезпечується складний рух спіралі, вона має осьове обертання та додаткове – планетарне її кінця закріпленого на провідній цапфі. Зовнішня траєкторія руху є усічений конус, аналогічний формі корпусу змішувача.



Рисунок 3.20 - Корпус макета спірального змішувача

Провідна цапфа представлена на рисунку 3.23, її конструкція складається з валу 1, підшипникової опори 2, фіксуючого болта 3 пластини 4 і склянки 5 зі 182 стопорними болтами 6. В пластині 4, є наскрізний паз, що забезпечує в експериментах зміну.

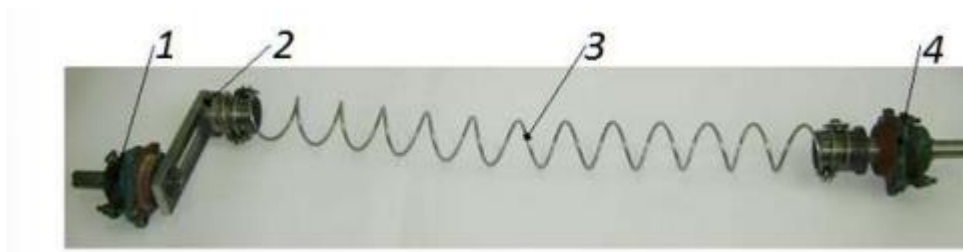


Рисунок 3.21 - Загальний вигляд робочого органу

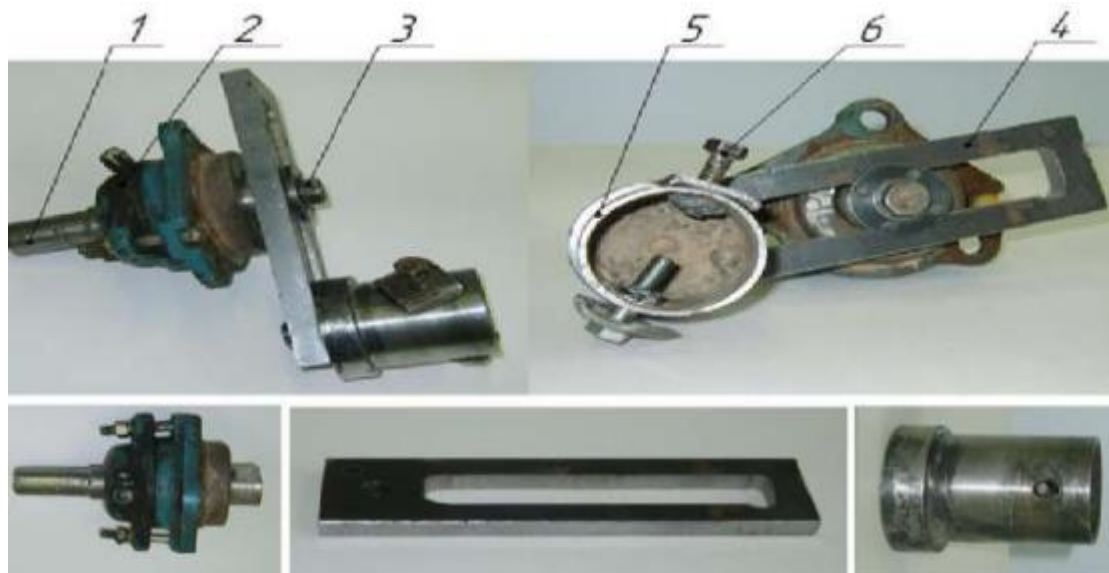


Рисунок 3.22 - Ведуча цапфа робочого органу

Конструкція веденої цапфи (рис. 3.23) аналогічна провідній, вона складається з стопорних болтів 1, склянки 2, опори підшипникової 3, і осі. Ведена цапфа встановлена на корпусі макета змішувача з можливістю переміщення осьового. Це забезпечує зміну кроку спіралі відповідно до продуктивності змішувача.

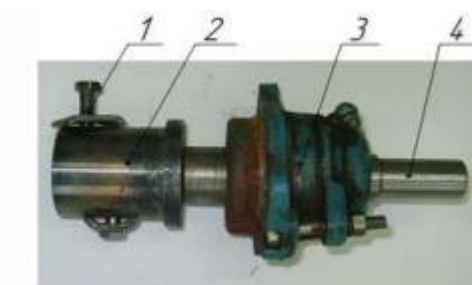


Рисунок 3.23 - Ведений вал робочого органу

Для виконання вище викладеної програми досліджень було виготовлено п'ять спіралей із різними значеннями міжвіткової відстані (рис. 2.24). Отже, разом із переміщенням веденої цапфа реалізовувався діапазон зміни чинника - крок спіралі.

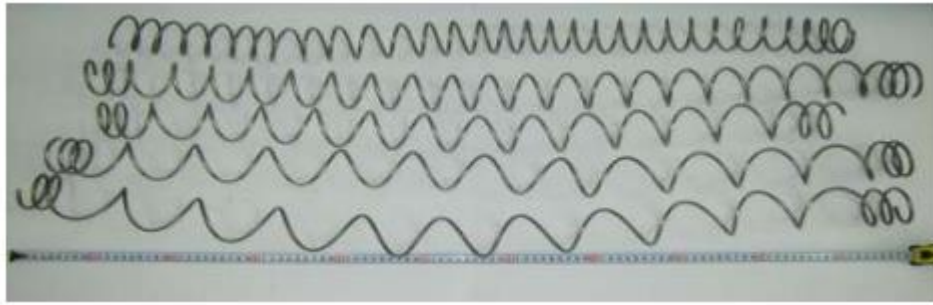


Рисунок 3.24 – Спіралі робочого органу

Бункер 1 із перегородкою 2 (рис. 3.25), встановленою з можливістю поперечного переміщення разом із заслінкою 9, виконував дві функції: перша - тимчасове зберігання компонентів, друга - забезпечення дозованої подачі в зону змішування.

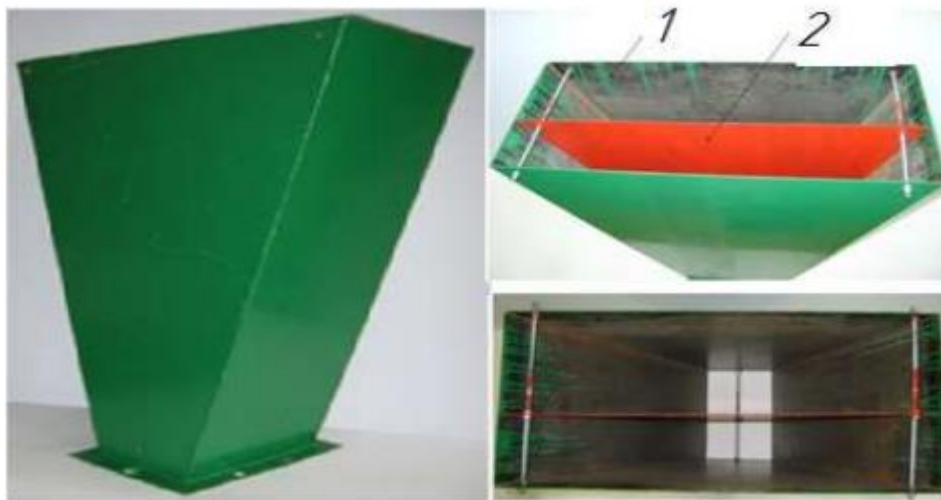


Рисунок 3.25 - Бункер макета спірального змішувача

Принцип роботи макета спірального змішувача (рис. 3.20). Попередньо, залежно від кількості змішувальних компонентів, встановлюються перегородки, що розділяють бункер 8 на секції. Після завантаження компонентів макет змішувача підключається до електромережі. Мотор-редуктор 6 обертає робочий орган 5. Заслінка 9 відкривається на встановлену величину, компоненти дозовано надходять в корпус макета змішувача 1. Спіраль 5 за рахунок осьового обертання переміщає компоненти, при цьому відбувається зміщення шарів маси забезпечуючи перемішування. За рахунок додаткового планетарного руху кінця пружини ефективність змішування підвищується. Для здійснення програми експериментальних досліджень процесу змішування сухих ППКЗП на базі макета спірального змішувача було створено лабораторну, принципову схему та загальний вигляд представлено на рисунку 3.26.

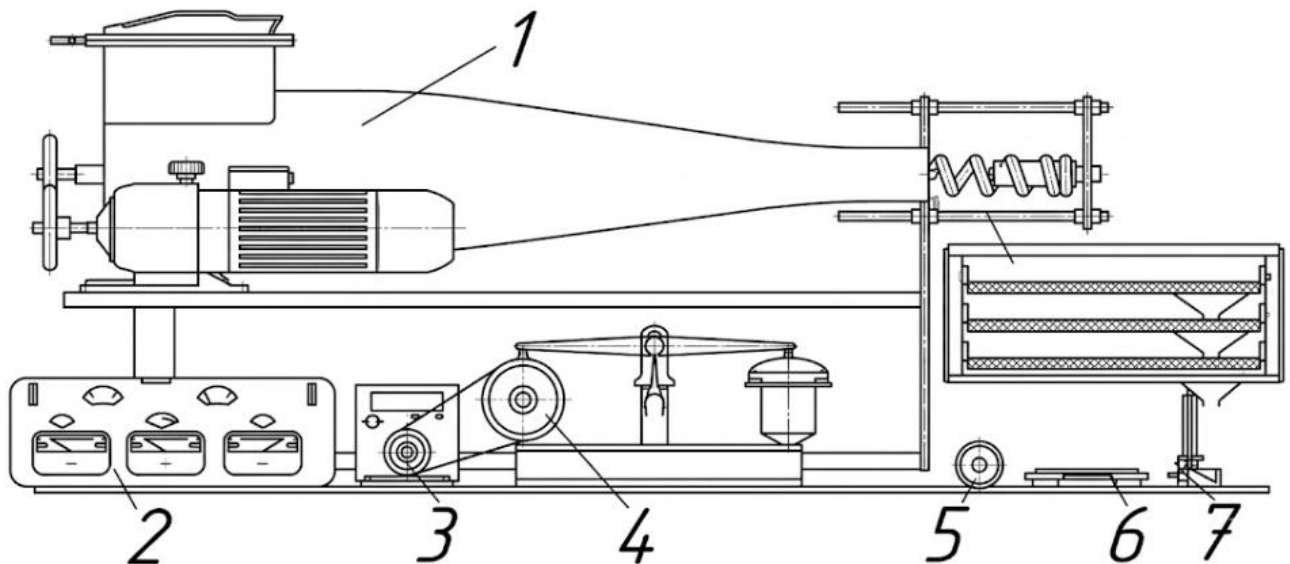


Рисунок 3.26 - Установка для приготування СКК

Лабораторна установка має наступне обладнання та прилади: макет спірального змішувача 1, електровимірювальний прилад (К-50) 2, частотний перетворювач «DELTA VF DL-3,0kW» 3, пурка літрова (ПХ-1) 4, секундомір 5, ваги (ВСП-0,5-1) лабораторної установки. Електровимірювальний прилад (К-50) використовувався для визначення потужності приводу змішувача, що витрачається. Частотний перетворювач "DELTA VF DL-3,0kW" дозволяє, змінюючи частоту. Пуркою (ПХ-1) визначали об'ємну масу ППКВП і СКК, що готується. Секундомір та ваги дозволили визначати час змішування та масу суміші, відповідно. Штангенциркуль використовували для визначення та контролю кроку спіралі. 185 Попередньо визначили залежність частоти обертання робочого органу від зміни частоти струму, що змінюється перетворювачем DELTA VF DL-3,0kW. За результатами даного досвіду збудували графічну залежність, яку використовували в подальших експериментальних дослідженнях при встановленні заданої частоти обертання робочого органу.

Зміну досліджуваних факторів здійснювали в такий спосіб. Величину ексцентриситету установки кінця спіралі на провідній цапфі змінювали за рахунок переміщення пластини 4 зі склянкою 5, кріплення спіралі щодо осі обертання валу 1 (рис. 3.23).

У цій установці продуктивність макета спірального дозатора, можливо, визначати двома способами.

Перший спосіб, зміною частоти обертання робочого органу, другий – величиною кроку спіралі. Для зміни продуктивності у вузькому діапазоні конструкції макета змішувача передбачено пристрій зміни продуктивності 4, воно дозволяє змінювати крок спіралі робочого органу шляхом осьового переміщення веденої цапфи щодо корпусу 1. Для розширення діапазону зміни даного фактора були виготовлені спіралі з різним кроком (рис. 3.25).

4. РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ СПІРАЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА СКК ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

4.1. Спіральний змішувач

На основі отриманих результатів досліджень було виготовлено зразок спірального змішувача (рис.4.1).

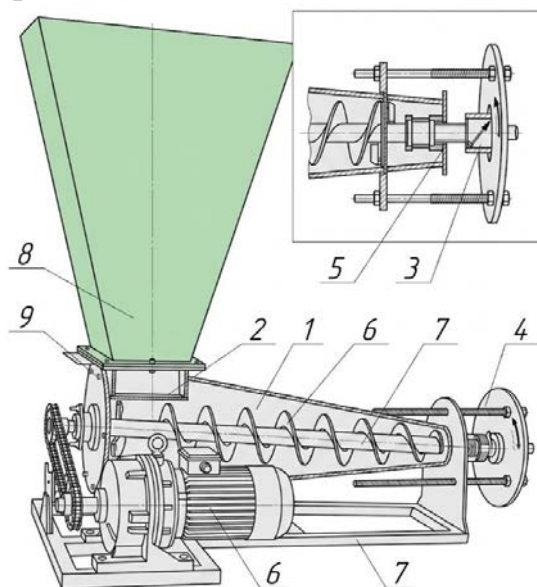


Рисунок 4.1 - Схема спірального змішувача:

1 - корпус, 2 - завантажувальне вікно, 3 - розвантажувальне вікно, 4 - пристрій регулювання продуктивності, 5 - робочий орган, 6 - мотор-редуктор, 7 - рама, 8 - накопичувальний бункер, 9 - шиберна заслінка

Для забезпечення встановлених раніше раціональних параметрів було встановлено спіраль, крок якої скоригований і становить 0,085 м. На провідній цапфі встановлено ексцентриситет спіралі, що дорівнює 0,070 м. Частота обертання робочого органу виробничого зразка спірального змішувача становила 3,8 с⁻¹. Працюючи виробничого зразка шиберную заслінку відкривали на 0,016 м. Кількість перегородок 2 в накопичувальному бункері залежало від числа компонентів кормової суміші. Електродвигун приводу робочого органу встановлено потужністю 1100 Вт. Технічні характеристики виробничого зразка наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики спірального змішувача

Показники	Значення
Габаритные размеры, м	1,8×0,65×1,45
Зовнішній діаметр спіралі, м	0,065
Внутрішній діаметр спіралі, м	0,053
Крок спіралі, м	0,085
Частота обертання спіралі, с ⁻¹	3,8
Продуктивність, кг /ч	0,33
Потужність приводу, Вт	1100

Маса, кг	98
----------	----

4.2. Результати ефективності використання СКК

Дослідження щодо ефективності використання СКК у раціонах годівлі великої рогатої худоби проводились відповідно до методики, викладеної 3.5. Як було зазначено вище, приготування СКК здійснювалося у даному господарстві. Як досвідчені тварини використовували бичків-аналогів м'ясної породи у віці шести місяців. Було сформовано дві групи, контрольна та дослідна, тварин масою 150 ± 10 кг.

Приріст бичків у цьому віці, за даними зоотехнічної служби становив 700 грамів на добу. Існуючий у господарстві раціон годівлі представлений у таблиці 5.6, його прийняли для годівлі контрольної групи. У дослідній групі у раціоні годівлі 3/4 частини концентрованого зернового корму замінили на 3 кг СКК.

Таблиця 4.2 - Склад кормосуміші бичків контрольної групи, кг

Корм	Добове споживання кормів
Сіно з природних сіножатей	25,0
Сінаж	8,0
Концентровані корми	4,0
Мінімальні добавки	0,3

Таблиця 4.3 - Склад кормової суміші для бичків дослідної групи, кг

Корма	Добове споживання кормів
Сіно з природних сіножатей	25,0
Сінаж	8,0
Концентровані корми	1,0
СКК	3,0
Мінімальні добавки	0,3

Під час проведення досліджень зміст тварин не змінювалися. Зміст бичків прийнятий у господарстві безприв'язний, на глибокій підстилці. корми перед згодовуванням змішуються кормороздавачем і видаються у вигляді кормосуміші двічі на добу.

В результаті досліджень щодо ефективності застосування СКК в раціонах годівлі великої рогатої худоби на відгодівлі встановлено, що середньодобовий приріст бичків у контрольній групі склав 830гр/сут, а в дослідній 920 гр/сут. Таким чином, середній приріст тварин дослідної групи вище на 10,8%. У заключний період дослідження приріст бичків у дослідній і контрольній групах склав 840гр/сут, що доводить ефективність застосування.

Спіральний змішувач був встановлений у технологічну лінію гранулювання СКК та здійснював змішування ВКМ + нейтралізований ЗКЕ ($W=10...14\%$) та макухи кукурудзяної ($W=9...12\%$). Співвідношення кукурудзяної макухи у СКК змінювалося від 5 до 30%. Максимальна

продуктивність лінії гранулювання до 0,42 кг/сек. Попередньо у змішувача спірального встановили ексцентриситет 0,070 м, крок спіралі 0,085 м, частоту обертання робочого органу 5,0 с-1, шиберну заслінку відкривали на 0,016 м, забезпечивши продуктивність 0,36...0,42 кг/с. На рисунку представлений спіральний змішувач, що здійснює змішування компонентів і вивантаження суміші до транспортера бункера накопичувача лінії гранулювання.

Технічна характеристика спірального змішувача представлена таблиці 4.1.



Рисунок 4.3 - Спіральний змішувач у лінії гранулювання:

1 - трубопровід подачі ВКМ+ЗКЕ, 2 - трубопровід подачі кукурудзяного макухи, 3 - бункер спірального змішувача, 4 - спіральний змішувач, 5 - шнековий транспортер для завантаження бункера лінії гранулювання

Лінія гранулювання СКК включає наступне обладнання: виробничий зразок спірального змішувача 1 трубопроводи подачі компонентів СККК; бункер спірального змішувача 3; шнековий транспортер суміші 4; бункер-накопичувач 5; дозатор 6 та зволожувач 7 преса 8; стрічково-планчасті транспортери 9; колона охолодження 10 з циклоном 11 та вентилятором 12; 13-пластиковий контейнер. При випробуванні на прес була встановлена матриця з отворами 0,008 м, оскільки передбачалося приготування кормів великої рогатої худоби.

Технологічний процес відбувається в такий спосіб. Макуха і мезга з екстрактом із секцій накопичувального бункера потрапляли в камеру спірального змішувача, перемішувалися, і однорідна кормова суміш з вивантажувальної горловини надходила до шнекового живильника. Він забезпечував завантаження бункера тимчасового зберігання кормової суміші. Звідки через щільний дозатор бункера суміш надходила у зволожувач та змішувач прес-гранулятора. У змішувачі волога рівномірно розподілялася по всьому об'єму корму, який потім надходив до матриці преса. Сформовані гранули із преса стрічковим транспортером подавалися до колони охолодження. Після охолодження відбувалася сепарація матеріалу. Гранули фасувалися у пластикові контейнери тимчасового зберігання, а крихта прямувала на повторне гранулювання.

Зовнішній вигляд одержаного продукту характеризується як гранули циліндричної форми діаметром 0,008 м і довжиною від 0,0010 до 0,0016 м з глянсовою поверхнею. СКК має приємний хлібний запах.

В результаті виробничих випробувань встановлено, що спіральний змішувач працездатний і має продуктивність 0,33 ... 0,40 кг / с, при цьому питомі витрати енергії склали $16,7 \cdot 10^{-5}$ Вт / с / кг, ступінь однорідності СКК - не нижче 95%.

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПІРАЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА СКК

5.1. Ефективність використання гранульованого СКК

Напрямок господарської діяльності виробництво молока, корови голштино-фризської породи утримуються безприв'язково, доїння – дворазове, відбувається у доїльному залі на установці «Dairy master». Комбіновані корми видаються автоматичною системою «Feed-Rite» під час доїння.

Відповідно до методики, для дослідження були відібрані корови на третьому та четвертому періодах лактації, живою масою 522 ± 20 кг та середньодобовим удою $19,2 \pm 0,2$ кг з яких сформували дослідну та контрольну групу по 15 тварин.

На час проведення досліджень у раціоні тварин використовували комбікорм КК60, норма видачі однією корову становила 8кг/сут. При дослідженні робили заміну $\frac{1}{2}$ частини добової норми комбікорму на гранульовані СКК. Таким чином, тварини контрольної групи отримували по 8 кг/добу комбікорму, а дослідної 4кг/добу комбікорму і 4 кг/добу гранульованого СКК. При цьому при приготуванні гранульованого СКК використовували 70% суміш ВКМ + нейтралізований ЗКЕ та 30% кукурудзяної макухи.

У дослідній та контрольній групах корів визначали середній удій, а в пробах молока – якісні параметри. В результаті досліджень встановлено;

1. Продуктивність тварин дослідної групи - 19,3 кг/добу;
2. Продуктивність тварин контрольної групи – 19,2/кг/добу;
3. Якісні показники молока дослідної групи: жир - 3,87 %, білок - 3,21 %;
4. Якісні показники молока контрольної групи: жир - 3,85 %, білок - 3,22 %.

Додатково слід зазначити, що гранульовані СКК поїдали охоче, їх залишків у годівниці після доїння не спостерігалось. Змін щодо стану тварин, за період досліджень не виявлено.

Аналізуючи отримані результати досліджень, впливає, що показники продуктивності тварин та якості молока у групах практично однакові. Тому можна зробити висновок, що застосування гранульованих СКК є ефективним, ними можлива заміна значної частини дорогих комбікормів без шкоди продуктивності тварин та якості продукції, що виробляється.

Для більш точного підтвердження ефективності використання гранульований СКК потрібно триваліший період годівлі корів.

5.2. Ефективність технології приготування ВКК

Перша - полягає у змішуванні ВКМ та ЗКЕ, який нагрівався попередньо перед нейтралізацією кислотності за рахунок теплової енергії пари.

Друга - що дозволяє проводити нагрівання ЗКЕ в розробленому нейтралізаторі за рахунок теплоти, що утворюється в процесі приготування водного розчину реагентів, оксиду кальцію і гідроксиду натрію.

Вартість технічних засобів приймали з урахуванням реальних цін на аналогічне обладнання у 2020 році. Вартість необхідного обладнання технологічних ліній з урахуванням доставки, монтажу та пусконаладжувальних робіт.

Таблиця 5.1 - Устаткування технологічних ліній приготування ТКК

		Базова технологія		Технологія 1		Технологія 2	
№	Назва обладнання	Потужність, кВт	Вартість тис., грн	Потужність, кВт	Вартість тис., грн	Потужність, кВт	Вартість тис., грн
1	Ємність тимчасового сховища ЗКЕ		450,0		450,0		450,0
2	Бункер дозатор ВКМ			1,5	468,64	1,5	468,64
3	Насос ЗКЕ	1,5	59,80	1,5	59,80	1,5	59,80
4	Ємність нейтралізації ЗКЕ			1,5	165,08	1,5	
5	Нейтралізатор ЗКЕ					3,7	771,24*
6	Змішувач розчину реагенту			1,1	290,38		
7	Насос для розчину реагентів			1,5	59,9		
8	Насос-дозатор нейтралізованого ЗКЕ			1,5	77,52		
9	Шнековий змішувач	5,0	571,26	5,0	571,26		
10	Шнеково-лопатковий змішувач					3,0	617,8
11	Транспортер ВКК	1,5	114,42	1,5	114,42	1,5	114,42

12	Бункер тимчасового зберігання ВКК		716,72		716,72		716,72
	Разом:	8,0	1911,9	15,1	2973,42	12,7	3198,32

Отримані дані дозволяють зробити попередній висновок про наведені витрати. Найбільші витрати у технології 1 це пов'язано з витратами на підігрів ЗКЕ для проведення його нейтралізації. Мінімальні витрати базової технології, це можна пояснити мінімальним устаткуванням. При цьому варто враховувати, що використання базової технології дозволяє використовувати лише 10% ЗКЕ, а решта залишається не затребуваною і створює велику екологічну проблему.

Річний вихід ЗКЕ складає 6572 т/рік. При використанні базової технології 657 тон використовується в кормах, а 5915 тон скидається у довкілля.

Таблиця 5.2 - Експлуатаційні витрати на виробництво ВКК

№	Показники	Базова технологія	Технологія 1	Технологія 2
1	Витрати: амортизація, грн/т оплата праці, грн/т ТОРХ, грн/т електроенергія, грн/т газ, грн/т	6.64 25.18 8.54 9.2 -	8,80 25,18 11,16 14,8 76,0	9,46 25,18 12,16 12,4 —
2	Питомі експлуатаційні витрати, грн/т	49,56	135,94	59,2
3	Питомі капітальні вкладення, грн/т	47,44	62,86	67,62
4	Питомі приведені витрати, грн/т	54,30	142,23	65,96

5.3. Економічна ефективність спірального змішувача

Як найближчий аналіз був обраний серійний змішувач ССК-3,7-П-Ф, який може використовуватися в технологічних лініях приготування сухих комбінованих розсипних кормів і гранульованих.

Необхідні дані розробленого спірального змішувача та ССК-3,7-П - Ф представлені в таблиці 5.3.

При визначенні чисельних значень показників економічної ефективності використовували наведені вище вирази.

Отримані результати наведено у таблиці 5.4.

Економічний ефект визначаємо за виразом:

$$EE_{c.c} = 2371 \times (205,4 - 183,8) = 51213,6 \text{ грн / рік}$$

Таблиця 5.3 - Техніко-економічні показники змішувачів

Показники	Змішувач ССК-3,7-П-Ф	Спиральний змішувач
Номінальна потужність, кВт	3,0	1,1
Продуктивність, т/ч	1,0...1,5	1,2
Заявлений ступінь однорідності, %	85...95	96..98
Балансова вартість, грн.	276 000	167450
Річне завантаження, ч	1976	1976
Маса, кг	295	114

Термін окупності спірального змішувача становитиме

$$CO_{c.c} = \frac{C_{\delta}}{EE_{c.c}}, \text{ роки} \quad (5.20)$$

$$CO_{c.c} = \frac{167450}{51213,6} = 3,2 \text{ роки}$$

В результаті розрахунку отримали, що при впровадженні розробленого спірального змішувача у лінію гранулювання при приготуванні 2371 тонни ССК можна отримати річну економічну ефективність у розмірі 51213,6 грн/рік, при цьому термін його окупності становитиме 3,2 роки.

У раціоні годівлі тварин заміняли 50% комбінованих кормів ССК. Середня ціна на комбікорми для великої рогатої худоби становила 20,5 грн/кг. Ціна гранульованого ССК з 30% вмістом кукурудзяної макухи становила - 14,3 грн/кг.

Таблиця 5.3 – Експлуатаційні витрати на виробництво ВКК

№	Показники	Змішувач ССК-3,7-П-Ф	Спиральний змішувач
1	Витрати: амортизація, грн/т оплата праці, грн/т ТОРХ, грн/т електроенергія, грн/т газ, грн/т	6.64 25.18 8.54 9.2 -	8,80 25,18 11,16 14,8 76,0
2	Питомі експлуатаційні витрати, грн/т	49,56	135,94
3	Питомі капітальні вкладення, грн/т	47,44	62,86
4	Питомі приведені витрати, грн/т	54,30	142,23

Таким чином витрати на комбікорми для однієї тварини становитимуть 164,0 грн/добу, при заміні 50% СКК витрати становитимуть 139,2 грн/добу. Річні витрати на корми визначимо за виразом

Річні витрати при використанні комбікорму

$$Z_{\text{комб}} = 365 \times 439 \times 164,0 = 26206544 \text{ грн} / \text{рік}$$

Річні витрати при використанні СКК

$$СКК = 365 \times 439 \times 139,2 = 2204712 \text{ грн} / \text{рік}$$

Визначимо річний економічний ефект від використання СКК

$$ЕСКК = 26206544 - 2204712 = 3901832 \text{ грн} / \text{рік}$$

У результаті заміни 50 % комбікормів на СКК можна отримати річний економічний ефект у розмірі 3 901 832 грн/рік (у перерахунку на 100 голів - 889 000 грн/рік).

5.4 Охорона праці

Технічна безпека змішувача СКК базується на забезпеченні герметичності робочих об'ємів, надійності механічних передач, електробезпеці та запобіганні доступу персоналу до рухомих частин під час роботи.

Конструктивні заходи безпеки та герметизація

Локалізація пилоутворення: Змішувач СКК має бути оснащений герметичними кришками та ущільнювачами на стиках завантажувальних патрубків, щоб запобігти викиду дрібнодисперсних часток комбікорму в зону дихання оператора.

Фіксація робочих органів: Спиральна навивка змішувача кріпиться до вала за допомогою посиленних зварних або болтових з'єднань, що виключає можливість відриву елементів під дією відцентрових сил та опору матеріалу при повному завантаженні бункера.

Захисні огороження: Усі відкриті ділянки приводів (пасові або ланцюгові передачі) повинні бути закриті суцільними металевими кожухами, які унеможливають затягування одягу або частин тіла персоналу в рухомі механізми.

Розрахунок аспірації та вентиляції для видалення пилу

Для запобігання утворенню концентрації пилу рослинного походження в об'ємі змішувача та навколо нього, система аспірації повинна забезпечувати постійне розрідження. Необхідна продуктивність аспіраційної системи ($L_{\text{асп}}$, m^3/h) для локалізації пилу у завантажувальних горловинах розраховується за формулою:

$$L_{\text{асп}} = 3600 \cdot F \cdot v_B$$

де F - площа відкритих отворів або нещільностей у корпусі змішувача (m^2);

v_B - мінімальна швидкість руху повітря в отворі, що запобігає вибиванню пилу назовні (приймається $v_B = 1,0-1,5 \text{ м/с}$).

Електробезпека та автоматичне блокування

Ревізійні люки та кришки змішувача оснащуються кінцевими вимикачами, які автоматично розривають ланцюг живлення двигуна при їх відкритті, запобігаючи травмуванню спіральним органом.

Заземлення: Корпус змішувача СКК та рама електродвигуна приєднуються до загального контуру заземлення згідно з вимогами ПУЕ. Захисне заземлення призначене для зниження напруги дотику до безпечного значення при пробії ізоляції на корпус. Розрахунковий опір заземлювального пристрою (R_3) у будь-яку пору року не повинен перевищувати:

$$R_3 \leq 40 \text{ Ом}$$

Аварійна зупинка: На пульті управління, що розташований безпосередньо біля змішувача, встановлюється кнопка аварійної зупинки грибоподібного типу з фіксацією для моментального знеструмлення агрегату в екстрених ситуаціях.

Зниження віброакустичного впливу та механічних навантажень

Робочий вал зі спіраллю обов'язково проходить динамічне балансування. Для оцінки динамічного навантаження на підшипникові вузли та запобігання руйнуванню опор, відцентрова сила від дисбалансу (F_d Н) визначається за формулою:

$$F_d = m_d \cdot r \cdot \omega^2$$

де m_d - маса еквівалентного незбалансованого елемента вала або спіралі (кг);

r - радіус розташування центра мас дисбалансу (м);

ω - кутова швидкість обертання змішувача (рад/с), що пов'язана з частотою обертання вала.

Кріплення змішувача до рами здійснюється через гумові або пружинні демпферні прокладки (віброізолятори). Це дозволяє знизити рівень структурного шуму та підтримувати загальний рівень звукового тиску в робочій зоні в межах нормованих 80 дБА.

Безпека при технічному обслуговуванні

Очищення та ремонт: Перед проведенням внутрішньої очистки змішувача від залишків корму необхідно не лише вимкнути апарат, а й витягнути запобіжні вставки з пускового пристрою та вивісити табличку «Не вмикати! Працюють люди».

Ергономіка вузлів: Точки змащування підшипникових вузлів винесені за межі небезпечних зон, що дозволяє проводити регламентне обслуговування без ризику контакту зі спіральним шнеком.

ВИСНОВОК

1. Технологія приготування вологого кукурудзяного корму з побічних продуктів крохмалопаткового виробництва повинна передбачати змішування в пропорції 6,4:1 віджатою кукурудзяною мезгою ($W=63\ldots 65\%$) зі згущеним кукурудзяним екстрактом ($W=58\%$), що пройшов попередньо ($pH=6,0\ldots 6,5$) водним розчином гідроксидів кальцію та натрію. Як додаткові компоненти суміші можуть бути подрібнене зерно кукурудзи, пелера і макуха. Встановлено, що для нейтралізації кислотності одного кілограма згущеного кукурудзяного екстракту з вологістю 58% необхідно $0,019$ кг оксиду кальцію і $0,012$ г натрію гідроксиду, що забезпечить зниження pH з $3,9$ до $6,3$, тривалість процесу становить $1188\ldots 1$.

2. Конструктивно-технологічна схема шнеко-лопаткового змішувача для приготування вологого кукурудзяного корму повинна містити корпус, забезпечений у зоні вхідної горловини мембраною защемленою по периметру з утворенням камери згущеного екстракту, і мішалку, виконану у вигляді гвинтових конвексів і послідовно навалом по валу. Порожнини валу та лопатей повідомлені між собою та з камерою згущеного екстракту. Мішалка встановлена в опорах, мембрани та корпуси з можливістю здійснювати обертальні та зворотно-поступальні рухи вздовж своєї осі. Теоретичними дослідженнями встановлено, що середня швидкість переміщення маси в змішувачі залежить від його геометричних розмірів та мембрани, а також частоти обертання та амплітуди коливань робочого органу. Експериментально виявлено оптимальні параметри змішувача: частота обертання мішалки $1,58\ldots 1,75$ с⁻¹ при амплітуді її коливань $0,05$ м і діаметрі отворів жиклерів порожнистих лопатей $0,004$ м, при цьому ступінь однорідності кормової суміші буде в межах $90\ldots 96\%$, а $(15,0 \ldots 16,3) \times 10^{-5}$ Вт · с / кг.

3. Конструктивно-технологічна схема спірального змішувача приготування сухих кукурудзяних кормів з побічних продуктів крохмалопаткового виробництва повинна містити корпус із встановленою в ньому з можливістю обертання спіраллю із закріпленими кінцями, одним на ексцентриці провідної цапфи із забезпеченням циклічних кругових рухів, а іншим – на переміщенні. Отримано математичну залежність середньої швидкості переміщення кормової маси в спіральному змішувачі в діапазоні зміни частоти обертання робочого органу $1,67\text{--}5,83$ с⁻¹, кроку спіралі $0,035\text{--}0,095$ м і ексцентриситету в межах $0,055$ до $0,105$ м.

Встановлені раціональні параметри спірального змішувача: частота обертання робочого органу $3,0\ldots 4,33$ с⁻¹, крок спіралі - $0,070\ldots 0,085$ м і ексцентриситет $0,065\ldots 0,075$ мм, що дозволяють забезпечити ступінь однорідності кормової суміші $96\ldots 98\%$ $(4,2\ldots 5,6) \times 10^{-5}$ Вт · с / кг

4. Результати техніко-економічної оцінки показали, що застосування розробленої технології приготування вологих кукурудзяних кормів з побічних

продуктів крохмалопаткового виробництва дозволяє виключити скидання згущеного кукурудзяного екстракту в навколишнє середовище та використовувати його в повному обсязі як компонент кормів для сільськогосподарських тварин.

Річний економічний ефект від впровадження розробленої технології при приготуванні 47304 т вологих кукурудзяних кормів з побічних продуктів крохмалопаткового виробництва з попередньою нейтралізацією згущеного кукурудзяного екстракту становив 3607800 грн, термін окупності обладнання - 0,35 року, додатковий річний прибуток 2020). Річний економічний ефект від впровадження спірального змішувача при приготуванні 2371 тонн гранульованих сухих кукурудзяних кормів становитиме 51213,6 грн, термін окупності - 3,2 роки. Використання вологих та сухих кукурудзяних кормів у раціонах годівлі великої рогатої худоби забезпечить річний економічний ефект відповідно 238710 та 88900 грн у розрахунку на 100 голів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Абрамов О. С. Механізація приготування вологих кормосумішей на основі мезги та екстракту кукурудзяного. *Техніка та технології АПК*. 2022. № 4. С. 12–16.
2. Бабич М. П. Технологічні лінії та обладнання кормоцехів : підручник. Житомир : Вид-во ЖНАЕУ, 2019. 356 с.
3. Брагінець М. В. Обґрунтування параметрів змішувача безперервної дії для вологих компонентів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*. 2021. Вип. 212. С. 45-51.
4. Васильєв С. А. Проектування машин для переробки сільськогосподарської продукції : навч. посібник. Київ : Аграрна освіта, 2020. 280 с.
5. Гайдаєнко О. В. Дослідження процесу нейтралізації кислотності кукурудзяного екстракту при приготуванні кормів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2023. Вип. 23. Т. 1. С. 98-105.
6. Голуб Г. А. Енергоефективні технології приготування та роздавання кормів у тваринництві. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2021. Вип. 13. С. 67-74.
7. Даниленко О. М. Охорона праці в переробній галузі АПК : навчальний посібник. Київ : Центр навчальної літератури, 2022. 240 с.
8. Заболотько П. С. Моделювання процесу змішування в шнекових агрегатах зі спіральною навивкою. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2022. Вип. 302. С. 115-122.
9. Коновалов В. Г. Використання побічних продуктів харчової промисловості у годівлі ВРХ. *Тваринництво України*. 2021. № 6. С. 22–26.
10. Куценко Ю. М. Автоматизація процесів дозування та змішування багатокомпонентних сумішей. *Кібернетика та системний аналіз*. 2024. Т. 15. № 2. С. 40-48.
11. Погорілий В. В. Технічний сервіс та експлуатація машин для приготування кормів. Полтава : ПДАУ, 2023. 195 с.
12. Сичевський М. П. Економіка та екологія глибокої переробки кукурудзи на крохмале-патокових підприємствах. *Економіка АПК*. 2020. № 9. С. 34-42.
13. Федоренко О. Г. Розрахунок та конструювання гвинтових змішувачів : методичні вказівки до курсового проектування. Харків : ХПІ, 2021. 64 с.
- 14 ДСТУ 4686:2006. Кукурудза. Технічні умови. - [Чинний від 2007-01-01]. - К. : Держспоживстандарт України, 2007. - 18 с.
15. ДСТУ 4487:2015. Комбікорми для сільськогосподарських тварин. Технічні умови. - К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. - 22 с.

ДОДАТКИ