

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 621.313.33:621.318.122

ПОГОДЖЕНО

**Директор Навчально-наукового
Інституту енергетики, автоматики
та енергозбереження**

_____ Каплун В.В.

(підпис) (ПІБ)

“ ____ ” _____ 2024 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри електротехніки,
електромеханіки та
електротехнологій**

_____ Окушко О.В.

(підпис) (ПІБ)

“ ____ ” _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: Двошнековий електромеханічний гідролізер для переробки пухо-
пір'яної сировини**

**Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

(код і назва)

**Освітня програма — «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

другого (магістерського) рівня вищої освіти

Орієнтація освітньої програми – Освітньо- професійна

Гарант освітньої програми

Канд. техн. наук, доц.

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Усенко С.М.

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Д-р техн. наук, проф.

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Заблодський М.М.

(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Мазуркевич О. І.

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри електротехніки,
електромеханіки та електротехнологій
канд. техн. наук, доц. _____ Окушко О.В.
“ _____ ” _____ 2024 року**

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Мазуркевичу Олександрю Івановичу

Спеціальність **141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**
Освітня програма - **«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

другого (магістерського) рівня вищої освіти

Орієнтація освітньої програми – **Освітньо- професійна**

Тема магістерської роботи **Двошнековий електромеханічний гідролізер для переробки пухо-пір'яної сировини**

затверджена наказом ректора НУБіП України від “26” вересня 2024р. № 1666 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

Вихідні дані до магістерської роботи –

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Всебічне вивчення патентно-кон'юктурної та прикладної бази закордонного і вітчизняного досвіду з переробки пухо-пір'яної сировини
 2. Обґрунтування технологічних параметрів і конструктивно-технологічної схеми електромеханічного гідролізера для переробки кератиновмісних відходів
 3. Обґрунтування параметрів компонентів силової електричної та пневматичної систем двошнекового електромеханічного гідролізера і розроблення їх принципів схем.
 4. Розробка MATLAB & Simulink моделі непрямого керування з орієнтацією на поле та імітаційне моделювання двошнекового електромеханічного гідролізера.
- Перелік графічного матеріалу – презентація – наочні матеріали з результатами дослідження, алгоритми розрахунків і таблиці з отриманими результатами.

Дата видачі завдання “ _____ ” _____ 2024 р.

Керівник магістерської роботи _____ Заблодський М.М.

Завдання прийняв до виконання _____ Мазуркевич О. І.

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг роботи: робота вміщує вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список використаних джерел, що налічує 52 позиції. Повний обсяг роботи складає 80 сторінок.

Робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі дослідження електромеханічних та теплових процесів агрегату для гідролізної переробки побічних продуктів птахівництва під впливом магнітного поля для підвищення ефективності переробки в промислових масштабах. Розроблені технологічні режими переробки кератиновмісної сировини із застосуванням електромеханічного гідролізера. Запропонована методика визначення еквівалентної потужності шнекового електромеханічного гідролізера. Встановлено, що у випадку орієнтації з низькою швидкістю метод з використанням датчика потоку може бути неприйнятним для складних електромеханічних систем. Альтернативою є розроблене для електромеханічного гідролізера непряме керування з орієнтацією на поле без вимірювання потоку в повітряному зазорі. Розроблені конструкція та принципові схеми експериментального зразка двошнекового електромеханічного гідролізера, в якому виконуються операції транспортування, змішування, тонкого подрібнення і водного гідролізу кератину та короткочасного високотемпературного гідролізу перо-пухової сировини у тонкому шарі з впливом магнітного поля. Завдяки деаерації пухо-пір'яної сировини, яку здійснюють за допомогою камери деаерації з ресівером і двома постійними магнітами, виключаються втрати якості одержуваного продукту внаслідок окислення. Розроблена методика випробувань експериментального зразка двошнекового електромеханічного гідролізера.

Ключові слова: магнітне поле, високотемпературний гідроліз, експериментальний зразок, електромеханічна система, кератиновмісна сировина, непряме керування з орієнтацією на поле.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АГРЕГАТІВ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ПЕРО-ПУХОВОЇ СИРОВИНИ.....	10
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ І КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ КЕРАТИНОВМІСНИХ ВІДХОДІВ	16
2.1 Визначення магнітної сприйнятливості амінокислот кератиновмісної сировини.....	16
2.2 Технологічні параметри і режими переробки кератиновмісної сировини із застосуванням електромеханічного гідролізера	22
2.3. Методика визначення еквівалентної потужності шнекового електромеханічного гідролізера на транспортування й нагрівання вологих кератиновмісних відходів	28
2.4. Висновки до розділу 2	35
РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ ДВОШНЕКОВОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА	37
3.1. Модель полеорієнтованого керування.....	37
3.2. SIMULINK модель непрямого керування з орієнтацією на поле	39
3.3. Висновки до розділу 3	44
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ, ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ ТА МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА ДВОШНЕКОВОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА	45
4.1. Конструкція та принципові схеми двошнекового електромеханічного гідролізера.....	45

4.2. Методика випробувань експериментального зразка двошнекового електромеханічного гідролізера	52
4.3. Висновки до розділу 4	63
РОЗДІЛ 5. ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В ТЕХНОЛОГІЯХ ПЕРЕРОБКИ КЕРАТИНОВМІСНОЇ СИРОВИНИ	65
5.1. Загальні вимоги	65
5.2. Вимоги охорони праці до технологічного процесу переробки кератиновмісної сировини	66
5.3. Вимоги безпеки до організації робочих місць	68
5.4. Вимоги безпеки для працівника, що обслуговує електромеханічний гідролізер.....	69
5.5. Висновки до розділу 5	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	71
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

FTIR – інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є

MATLAB & Simulink – інтерактивний інструмент для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем

ШІМ – широтно-імпульсний перетворювач

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок

ПЧ – перетворювач частоти

VMD, QwikMD та NAMD – програмні середовища для модулювання молекулярної динаміки

ШЕМГ – шнековий електромеханічний гідролізер

ГДК – гранично допустима концентрація

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту органів дихання та шкіри

ВСТУП

В останні роки інтенсивного темпу розвитку набула галузь промислового птахівництва, зокрема вирощування та переробка курчат-бройлерів. Пухо-пір'яні відходи забруднені мікробною біомасою та вимагають тривалого періоду часу для розкладання природним шляхом, що ускладнює процес утилізації. Зростаюча екологічна проблема викликає інтерес до потенційного використання відновлювальних ресурсів. Пухо-пір'яні відходи на 91 % складаються з білку кератину і потенційно можуть бути використані для виготовлення цінних матеріалів. Кератин являється одним з найбільш поширених структурних білків, а в організмі тварин поруч з колагеном він являється найбільш важливим біополімером. Кератини володіють високою міцністю та щільністю і не розчиняються в полярних та неполярних розчинниках. Існує декілька способів видобутку кератину з біомаси відходів включаючи кислотний гідроліз, лужний гідроліз, ферментативний гідроліз, гідроліз іонною рідиною і лужно-ферментативний гідроліз. Аналіз існуючого досвіду дозволяє зробити висновок, що жорсткі режими хімічних способів обробки приводять до втрати незамінних амінокислот, рацемізації амінокислот білкових гідролізатів, утворенню циклопептидів і зниження біологічної цінності кінцевих продуктів.

Найбільшого поширення отримав метод гідротермічного гідролізу. Кератин еластичний, здатний розтягуватись при обробці гарячим паром і стискатись під час висушування, що пояснює процес переходу кератину до шарової структури. Гідротермічний режим переробки курячого пір'я у вакуум-горизонтальних котлах малоефективний, так як не забезпечує повного гідролізу кератинових дисульфідних зв'язків в молекулах пір'яного білку. Технологія виготовлення кормових добавок з побічних продуктів птахівництва з використанням екструдерів і двошнекових систем, де процес тонкого подрібнення та водний гідроліз кератину суміщені і проходять в тонкому шарі, забезпечує перетравність отриманої білкової кормової добавки з пухо-пір'яної сировини на рівні 80 %. Однак цей спосіб двоступінчастого нагріву і наступного

гідролізу володіє декількома недоліками: неповне руйнування кератинових дисульфідних зв'язків в молекулах пір'яного білку; низький ступінь регулювання процесу.

В зв'язку з тим, що в останні роки зросли вимоги до якості білкового кормового борошна з пухо-пір'яної сировини, нагальною проблемою є розробка більш ефективного способу переробки, який здатний формувати додаткові фізичні впливи на кератинову сировину і забезпечувати регульований процес та, відповідно, створення електротехнологічних комплексів з поліфункціональними властивостями. На сьогодні відсутні дослідження по обґрунтуванню структури електротехнологічного комплексу із застосуванням двошнекового електромеханічного гідролізера за умов впливу магнітного поля на сировину. Тому дослідження електромагнітних, електромеханічних, теплових та вібраційних процесів агрегату для гідролізу переробки побічних продуктів птахівництва під впливом магнітного поля для підвищення енергоефективності переробки в промислових масштабах є актуальною науково-прикладною задачею.

Зміст поставлених завдань:

1. Всебічне вивчення патентно-кон'юктурної та прикладної бази закордонного і вітчизняного досвіду з переробки пухо-пір'яної сировини
2. Обґрунтування технологічних параметрів і конструктивно-технологічної схеми електромеханічного гідролізера для переробки кератиновмісних відходів
2. Обґрунтування параметрів компонентів силової електричної та пневматичної систем двошнекового електромеханічного гідролізера і розроблення їх принципових схем.
3. Розробка MATLAB & Simulink моделі непрямого керування з орієнтацією на поле та імітаційне моделювання двошнекового електромеханічного гідролізера.

Мета дослідження – підвищення ефективності двошнекового електромеханічного гідролізера при переробці пухо-пір'яної сировини шляхом удосконалення технології і проектних рішень.

Об'єкт дослідження – процеси двошнекового електромеханічного гідролізера при переробці пухо-пір'яної сировини.

Предмет дослідження – параметри компонентів силової електричної та пневматичної систем, моделі керування та характеристики двошнекового електромеханічного гідролізера.

Для досягнення мети та здійснення завдань було використано такі **методи**:

- теоретичні – аналіз, синтез, узагальнення, систематизація, порівняння для розкриття сутності та визначення базових понять досліджуваної проблеми, структурування, моделювання для розробки моделі;
- емпіричні – спостереження, порівняння, вимірювання, розрахунок, метод проб і помилок;
- кількісної обробки даних – визначення середніх значень, розрахунок заданих параметрів.

Організація та експериментальна база дослідження.

Теоретичні дослідження електромагнітних, теплових процесів і характеристик базуються на фундаментальних положеннях теорії електромагнітних пристроїв, теорії коливань, теорії автоматизованного управління, термодинаміки нерівноважних процесів. Для верифікації розрахунків, перевірки теоретичних положень, нових технічних рішень виготовлені та досліджені макетні зразки.

Практичне значення дослідження: обґрунтування параметрів компонентів силової електричної та пневматичної систем двошнекового електромеханічного гідролізера і розроблення їх принципових схем; результати експериментальних досліджень електромагнітних та теплових характеристик двошнекового електромеханічного гідролізера при переробці пухо-пір'яної сировини.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АГРЕГАТИВ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ПЕРО-ПУХОВОЇ СИРОВИНИ

Як правило відходи птахівництва вивозять на звалища або спалюють. Лише незначна частина пухо-пір'яних відходів піддається переробці. Пір'яне борошно, як продукт переробки пухо-пір'яних відходів – цінна сировина у медичній, фармацевтичній, косметичній та біотехнологічній промисловості [1, 2]. Продукти цих галузей являються інноваційними, однак використовують пір'яне борошно у незначній кількості або мають вузький спектр практичного застосування [3], що в основному пов'язано зі складністю переробки пір'я. Пір'я являється різновидом білкового матеріалу і на 90 % складається з кератину. Кератин – це структурний білок, що виділяється своєю стійкістю до впливу різного роду фізичних та хімічних факторів [4].

Аналіз досліджень [5] дозволяє зробити висновок, що жорсткі режими хімічних способів обробки призводять до втрати важливих амінокислот, рацемізації амінокислот білкових гідролізатів, утворення циклопептидів і зниження біологічної цінності кінцевого продукту.

Одним з найефективніших методів переробки пухо-пір'яних відходів в промислових масштабах являється метод гідротермічного гідролізу. Переробку відходів забою птиці на кормові цілі проводять у вакуум-горизонтальних котлах різної конструкції, які, в основному, використовувались для утилізації відходів пташиного походження на санітарно-ветеринарних заводах, рис. 1.1.

Все частіше гідротермічний гідроліз побічних продуктів птахівництва виконують в шнекових перетворювальних пристроях. Використання шнекового перетворювача приваблює універсальністю в переробці різного роду матеріалів не зважаючи на темп технологічного процесу [6-8].

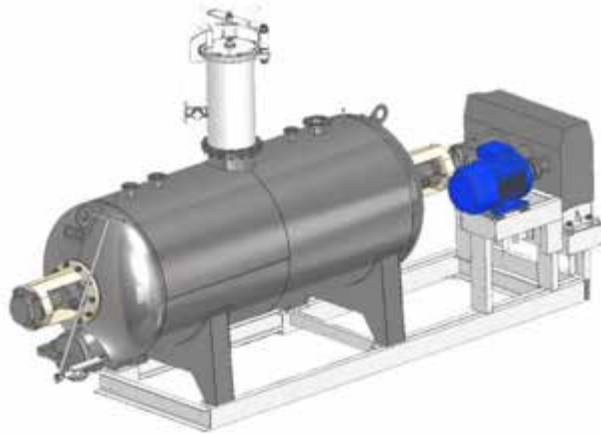


Рис. 1.1. Вакуум-горизонтальний котел

Серед існуючих відома удосконалена технологія переробки пухо-пір'яних відходів, що включає нагрів, подрібнення, стерилізацію, гідроліз і сушку [9]. Обладнання складається з чотирьох секцій: Всі чотири секції виконані у вигляді каналів, що мають форму, утворену двома або більше пересічними паралельними циліндрами, в яких обертаються шнеки, забезпеченими обігрівальними сорочками з циркуляцією теплоносія.

Установка високотемпературного гідролізу пухо-пір'яної сировини у тонкому шарі представлена на рис. 1.2

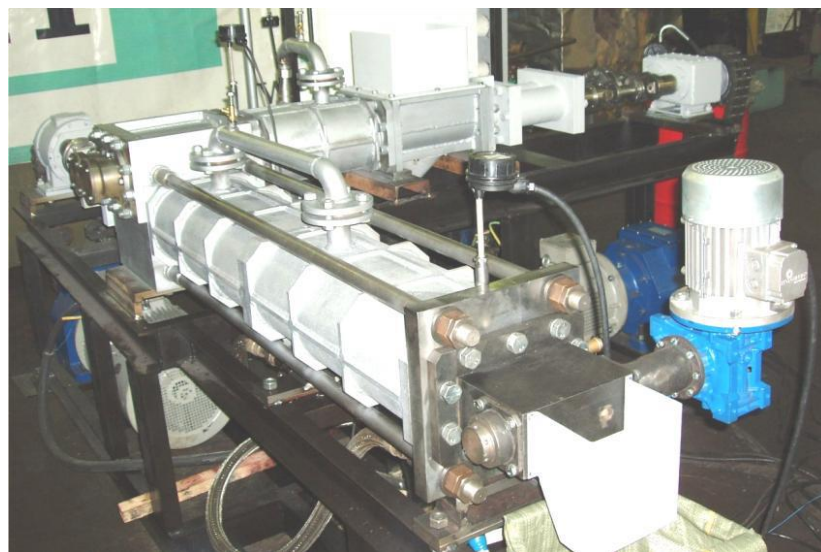


Рис. 1.2. Установка високотемпературного гідролізу пухо-пір'яної сировини у тонкому шарі

Установка має такі складові:

1. Завантажувальний бункер з шнеками, що обертаються в протилежних напрямках і здійснюють попереднє подрібнення і нагрівання.
1. Секція подальшого нагріву, ущільнення до отримання надійної пробки і подрібнення пера. В зоні максимального підтискання на вали встановлюються шнеки з зворотним напрямком витка, а температура пера в цьому місці повинна знаходитися в межах 60-120 °С.
2. Секція подрібнення пера, подальше нагрівання.
3. Секція високотемпературного гідролізу пухо-пир'яної сировини у тонкому шарі 30 мм. В кінці 4-ї секції розташований клапан – пристрій, що дозволяє вивести із зони високого тиску і температури перероблене перо в приймальну ємність з атмосферним тиском. Це пристрій являє собою об'ємний насос і перешкоджає об'ємному скипанню рідини в каналі і зниженню температури.

Основними недоліками способу є відсутність регулювання параметрів і продуктивності процесу гідролізу при зміні властивостей сировини, низька енергоефективність через наявність чотирьох окремих секцій і електроприводів з різними характеристиками, втрата якості одержуваного продукту внаслідок нерівномірності температурного поля в зонах прогріву сировини та її окислення під час зростання продуктивності завантаження у 8-10 разів у порівнянні з продуктивністю шнеків.

Відомий спосіб виробництва кормового білкового борошна з перо-пухової і кератиновмісної сировини, який здійснюється, за допомогою шнекової установки, рис.1.3 [10]. Волога перо-пухова кератиновмісна маса після відділення надлишку води, необхідної для транспортування пера з забійного цеху, подається в завантажувальний отвір 1. Сировина подається в канал, утворений двома поздовжньо з'єднаними паралельними циліндрами з розміщеними в них шнеками 2. Вода, що знаходиться в масі, віджимається шнеками і видаляється з корпусу 4 шнеків 2 за допомогою відвідних патрубків 5 вологи.

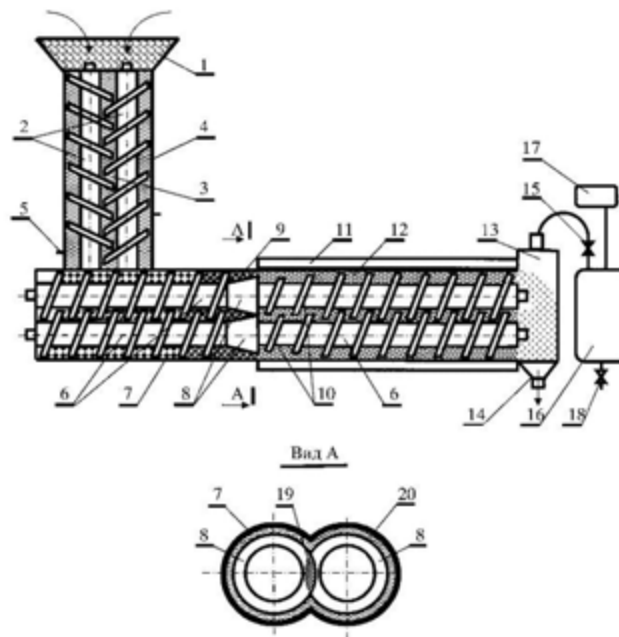


Рис. 1.3. Шнекова установка для здійснення способу виробництва кормового білкового борошна з перо-пухової і кератиновмісної сировини

Віджата до вологості 35-45 % сировина надходить у робочу зону шнеків 6, де здійснюється подальше ущільнення сировини до утворення сировинного ущільнення, так званої холодної пробки між корпусом 7 шнеків 6 і конусами 8. При переході сировини в другу робочу частину шнеків 6, зменшена в діаметрі частина витків 10 шнеків 6 починає розпушувати ущільнену конусами 8 сировину, що пройшла через прохідний переріз 20 між корпусом 7 і конусами 8. Зовні корпусу 7 другої частини шнеків 6, де відбувається нагрівання та гідроліз сировини, змонтовано обігриваючий пристрій 11, в порожнині якого циркулює теплоносій і який швидко, протягом декількох секунд нагріває розпушену сировину 12 до температури 180-260 °С. Наступні витки шнеків 6, у міру нагрівання, продовжують розпушувати, рівномірно розподіляють по об'єму порожнини корпусу шнеків сировину. Під впливом температури, тиску та механічного впливу, сировина переходить у стан дрібно подрібненої маси, схожої на тісто з включеннями окремих волокон. Крім того, шнеки виконують транспортну функцію - переміщують перо-пухову кератиновмісну масу (сировину) всередині каналу, при заданих параметрах - температурі 180-260 °С, тиск від 1,0 МПа до 5,0 МПа. У завантажувальному шнеку обертання шнеків

виконане в протилежні сторони для кращого захоплення сировини. На виході шнеків 6 змонтовано технологічну герметичну ємність 13, що приймає вихідний з порожнини корпусу шнеків оброблений продукт, в якій сировину, після закривання механізму 14 розвантаження продукту піддають вакуумним імпульсам, шляхом швидкого з'єднання за допомогою швидкодіючого клапана 15 з ресивером 16, в якому попередньо створили вакуум. Вакуумні імпульси впливають не тільки на сировину, що знаходиться в ємності 13, але і на частину сировини, що знаходиться в порожнині корпусу 7 шнеків 6 в безпосередній близькості до ємності 13. При цьому та частина сировини, яка знаходиться в безпосередній близькості до ємності 13, піддається більш глибоким вакуумним імпульсам від надлишкового позитивного тиску до вакуумного впливу та більш ефективного впливу на оброблювану сировину. При періодичному наповненні сировиною технологічної герметичної ємності 13 здійснюють вакуумний вплив на сировину і видаляють надлишки вологи, приводячи вологість готової продукції до необхідної 8-12 %. При цьому в структурі сировини відбувається вибухове закипання та руйнування сировини на дрібні частки. Після процесу обробки отримують розсипчасту подрібнену фракцію (борошно), яку можна використовувати як білкову добавку для годування птиці та інших видів тварин без додаткового підсушування.

Недоліками аналогу є відсутність регулювання параметрів і продуктивності процесу гідролізу при зміні властивостей сировини, неповне руйнування кератинових дисульфідних зв'язків в молекулах пір'яного білку.

Висновки до розділу 1

Суттєвими недоліками існуючих способів і конструкцій переобки кератинової сировини є відсутність регулювання параметрів і продуктивності процесу гідролізу при зміні властивостей сировини.

Метою даної роботи є підвищення ефективності двошнекового електромеханічного гідролізера при переробці пухо-пір'яної сировини шляхом удосконалення технології і проєктних рішень

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ І КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ КЕРАТИНОВМІСНИХ ВІДХОДІВ

2.1 Визначення магнітної сприйнятливості амінокислот кератиновмісної сировини

На молекулярному рівні кератини можуть мати три різні конфігурації: α -кератини, що відносяться до протеїнів інтермедіальних філаментів з низьким вмістом Сульфуру (1,5–2 %), мають структуру α -спіралі та молекулярну масу в діапазоні від 40 до 70 кДа; β – кератини, що також відносяться до протеїнів інтермедіальних філаментів, але мають структуру β -листка та меншу молекулярну масу – 10–30 кДа; та γ -кератини, що за своєю структурою є аморфними протеїнами з високим вмістом Сульфуру (4–8 %), локалізуються у матриксі, а їх молекулярна маса варіює в діапазоні від 11 до 28 кДа [16].

Взаємодія α -спіралі та β -листіків робить кератинове волокно еластичним, а дисульфідні зв'язки між молекулами цистеїну – стабільним та важко розчинним. Найбільш поширеними формами кератинів є α -кератини, що характерні для ссавців, та β -кератини, які характерні для рептилій та птахів. α -кератини входять до складу волосся, вовни, рiг, нігтів, кігтів ссавців, тоді як β -кератини присутні в нігтях, лусках, кігтях рептилій, ракушках, пір'ї та дзьобах птахів (рис. 2.1) [17].

Між катіонами аміногрупи та аніонами карбоксильної групи утворюються іонні зв'язки. Цей тип зв'язків залежить від рН. Ізоелектрична точка іонізованих груп спостерігається при рН 4–5 [17].

Обробка побічних продуктів птахівництва і тваринництва електромагнітним полем – одна з пропозицій по формуванню удосконаленого технологічного процесу гідротермічної переробки кератинової сировини.

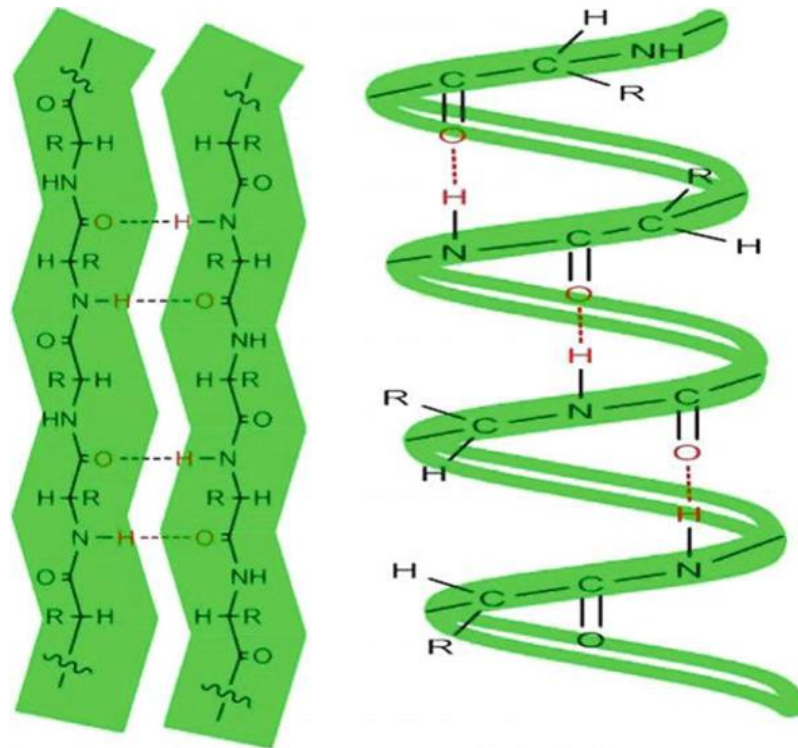


Рис. 2.1. Вторинна структура кератину [17]. а – β -листок, б – α -спіраль.

Вектор намагніченості є однією з основних макроскопічних характеристик для опису магнітних властивостей речовини. У деяких речовинах існує лінійна залежність між намагніченістю та напруженістю магнітного поля. Цю залежність можна описати виразом:

$$M = \chi H \quad (2.1)$$

де M – вектор намагніченості, А/м; χ – магнітна сприйнятливість; H – напруженість магнітного поля, А/м.

Кератинова сировина є діамагнітним матеріалом. Магнітна сприйнятливість кератинового матеріалу значною мірою залежить від амінокислотної послідовності в молекулярній структурі. Від'ємне значення магнітної сприйнятливості, пов'язане з діамагнетизмом, зазвичай невелике. Тому атоми діамагнітного матеріалу не мають магнітного моменту за відсутності зовнішнього магнітного поля.

У разі розміщення кератинової сировини в магнітному полі в електронній оболонці кожного з його атомів за законом електромагнітної індукції виникають

індукційні струми. Ці індуктивні струми створюють індуктивний магнітний момент, протилежний зовнішньому магнітному полю.

На кафедрі електротехніки, електромеханіки та електротехнологій здійснено розрахунок згідно методу, запропонованого в роботах [18,27], шляхом аналізу координат та амінокислотного складу PDB-файлу молекулярної структури курячого пір'я. Результати розрахунку наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Магнітна сприйнятливість амінокислот курячого пір'я

Амінокислота	Розрахована магнітна сприйнятливість
MET	$-95,37 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
SER	$-59,92 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
CYS	$-73,91 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
TYR	$-114,07 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
ASP	$-69,67 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
LEU	$-87,28 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
PRO	$-75,46 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
THR	$-71,84 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
ILE	$-87,28 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
ARG	$-122,74 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
GLN	$-85,26 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
ALA	$-51,82 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
ASP	$-69,67 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
GLU	$-81,49 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
ASN	$-72,93 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
VAL	$-75,46 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$
PHE	$-108,47 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{моль}$

Кератиновий матеріал з негативною магнітною сприйнятливістю відштовхується в напрямку від джерела магнітного поля, що створює додатковий молекулярний тиск на сировину і покращує процес гідротермального гідролізу.

Для експериментального оцінювання впливу магнітного поля на кератиновмісну сировину застосовано метод аналізу, відомий як FTIR-аналіз або FTIR-спектроскопія, який використовується для ідентифікації органічних, полімерних матеріалів.

Попередньо було здійснено збір і підготовку кератиновмісної сировини з відходів на бійні АТ «Агрокомбінат «Калита» Київської області (необроблена свиняча щетина і копита) та ПАТ Птахофабрика "Васильківська"(пташине пір'я).

Підготовка сировини містить операції очищення від залишків крові промиванням гарячою водою і сушіння. Для виключення втрати якості одержуваного продукту гідролізу внаслідок окислення попередньо здійснюється видалення кисню. Абсорбції, за допомогою спеціально підібраного сорбенту, підлягає весь залишковий кисень, який знаходиться в кератиновмісній сировині на момент герметизації. У якості поглиначів кисню можна використовувати речовини, які можуть хімічно або ферментативно видалити кисень: оксид заліза (залізний порошок); аскорбінова кислота; залізно-сольовий порошок; суміші оксиду заліза та хлориду калію тощо.

Було виготовлено пакети-саше розміром 20x30 мм з плівки EVA (20 мкм), поліетилену низької щільності — LDPE (20 мкм) та плівки еколін з (15 мкм). В готові пакетики помістили по 4 грами залізного порошку та 0,6 мл води, провели герметизацію та розмістили пакетики з поглиначем кисню в пакети з подрібненою кератиновмісною сировиною відповідного виду. Процес поглинання кисню відбувався за період часу до 36 годин. Далі в герметичній камері проводиться зволоження сировини до рівня залишкової вологи (35-45 %), необхідної для гідролізу, і фасування кератиновмісної сировини відповідного виду в металеві капсули-контейнери (рис.2.2,а). Розміри капсули-контейнера: висота загальна 74 мм, діаметр 15 мм, товщина стінки 1,0 мм.

Для створення умов впливу магнітного поля використовується котушка електромагнітна (соленоїд) В64, живлення якої в залежності від модифікації може здійснюється від мережі постійного струму (напруга 12 В, 24 В, 48 В, 110 В) або змінного струму частотою 50 Герц (напруга 24 В, 36 В, 48 В, 110 В, 220 В, 380 В). Металеві частини котушки захищені від корозії. Сама котушка ізолювана склонаповненим поліамідом (рис. 2.2, б).



Рис. 2.2. Комплектація приладів для розміщення зразків кератиновмісної сировини про експериментальному оцінюванні впливу магнітного поля: а - капсула-контейнер; б – котушка електромагнітна (соленоїд)

Капсули-контейнери з кератиновмісною сировиною розміщувались в камері стерилізатора сухоповітряного ГПО-25 (максимальна температура 300°C; дискретність завдання температури 1 °С ; матеріал камери – AISI 304 аустенітна немагнітна, нержавіюча сталь). Контрольні зразки (капсули-контейнери без впливу магнітного поля) і капсули-контейнери, вставлені в отвори електромагнітних котушок, розміщувались на окремих полицях камери стерилізатора. Необхідний рівень магнітної індукції (1,0 –65 mT) і частотний діапазон (0 – 50 Гц) в порожнині капсули, де розміщувалась кератиновмісна сировина, створювався шляхом регулювання живлення електромагнітних котушок напівпровідниковим частотним перетворювачем.

Температуру в камері стерилізатора встановлювали на рівні 200°C , яка досягалась через 20 хвилин. Контроль температури капсул-контейнерів здійснювався за допомогою термопар. При досягненні температури 180°C (мінімально необхідна температура для здійснення гідролізу) вмикалось живлення електромагнітних котушок і зразки (крім контрольних) протягом 10 хвилин піддавалися впливу магнітного поля. В герметичних капсулах-контейнерах при досягнутих температурах створювався тиск до 0,5 МПа.

Після завершення процесу гідролізу капсули-контейнери піддавалися інтенсивному охолодженню, відкривались, а отриманий продукт пересипався у поліпропіленові пробірки, які вставляли в ІЧ-Фур'є спектрометр. При приготуванні порошкових проб необхідно, щоб частинки проби були співрозмірні з довжиною хвилі падаючого випромінювання, інакше можливе сильне розсіювання інфрачервоного випромінювання частинками порошку. Тому розміри частинок порошку повинні бути в діапазоні 2,5 - 1000 мкм. Випробування та аналіз результатів проведено в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України.

Пристрій, що використовується при аналізі (ІЧ-Фур'є спектрометр Thermo Scientific™ Nicolet™ iS50 з інтегрованим програмним забезпеченням), посиляє інфрачервоне випромінювання від зразка, поглинаючи частину випромінювання і пропускаючи деяке випромінювання. Поглинене випромінювання молекулами зразка перетворюється на енергію обертання або коливання, а отриманий сигнал у детекторі представляє молекулярний відбиток зразка. Вимірювання реєструвалися в діапазоні $4000\text{--}400\text{см}^{-1}$ з роздільною здатністю 2 см^{-1} . При проходженні ІЧ-випромінювання через речовину відбувається його поглинання на частотах, що збігаються з деякими коливальними і оберतालними частотами молекул, або з частотами коливань кристалічної решітки. В результаті інтенсивність ІЧ-випромінювання на цих частотах падає - утворюються смуги поглинання. Це поглинання носить селективний характер і відбувається, як уже говорилося раніше, на тих частотах, які збігаються з деякими власними частотами коливань атомів в молекулах речовини і частотами обертання молекул в цілому. Діапазон частот коливальних переходів - від 3×10^{11} до 10^{14} Гц, а в $\lambda = 0,750 - 1000$ мкм (хвильове число від 10 до приблизно 40000 см^{-1}). На рис. 2.3 показані спектри FTIR свинячої щетини після гідротермічної обробки. Отриманий гідролізат свинячої щетини включає глютамінову кислоту, цистеїн, лейцин, серин і аспарагінову кислоту, причому спостерігається підвищена концентрація лейцину і валіну. Спостерігається також зміна інтенсивності поглинання в спектрах FTIR свинячої щетини після гідротермічної обробки при

впливі постійного магнітного поля 65 mT у порівнянні з контрольним зразком. Амідна область, яка чутлива до вторинної структури білків, розташована в зонах хвильового числа від 1600 до 1700 cm^{-1} .

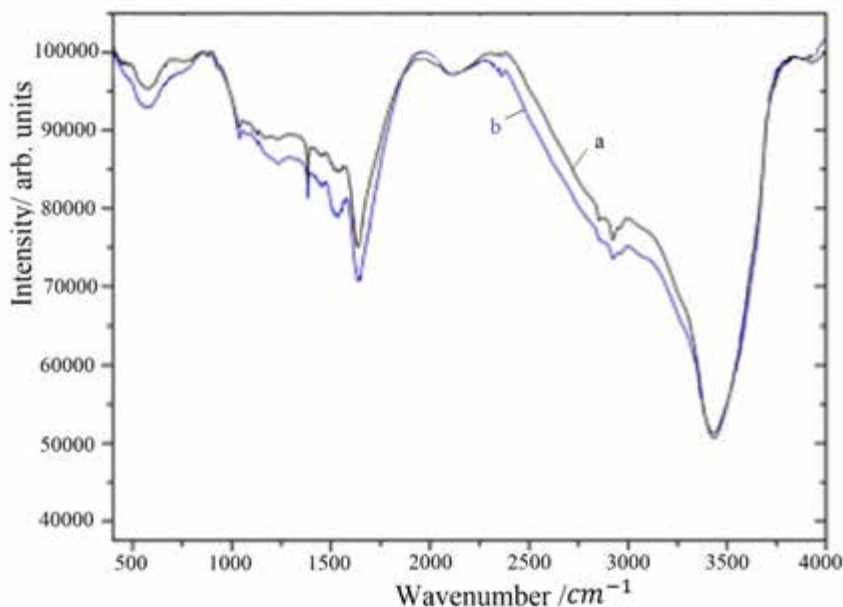


Рис.2.3. Спектри FTIR свинячої щетини після гідротермічної обробки: а – контрольний зразок; б – при впливі постійного магнітного поля 65 mT

Якщо розділити цю область на компоненти після гідротермічної співвідношення часток вмісту α -спіралі та β -листа зміщується в бік домінування α -спіралі. Напроти, для пташиного пір'я виявилася перевага частки β -листа.

Оскільки механізм переходу спірального α -кератину в β -кератин пов'язаний з проникненням молекул води всередину фібрилярної структури, можна передбачити інтенсифікацію цих процесів за рахунок дії сил Лоренца на дипольні молекули води.

2.2 Технологічні параметри і режими переробки кератиновмісної сировини із застосуванням електромеханічного гідролізера

На основі попереднього аналізу впливу технологічних факторів на процеси переробки кератиновмісних відходів запропоновано спосіб виробництва кормового білкового борошна [19]. На рис. 2.4 представлена

конструктивна схема технологічної лінії для переробки кератиновмісних відходів і сировини у білковий концентрат.

Неподрібнена перо-пухова сировина з вихідною вологістю 60-80 % безперервно подається на транспортер¹, на якому піддається впливу електромагнітних полів з протилежним відносно вісі транспортера напрямком для видаління металевих домішок, що підвищує надійність і безперервність роботи шнекової установки, після чого за допомогою стрічкового вакуум-фільтра ², вихід якого розташовано безпосередньо у завантажувальному пристрої ³ шнекової установки, здійснюється видалення водоповітряної компоненти з сировини до рівня залишкової вологи (35-45 %), необхідної для гідролізу. Під дією вакууму вода проходить через фільтрувальну тканину і отвори в стрічці у вакуумну камеру.

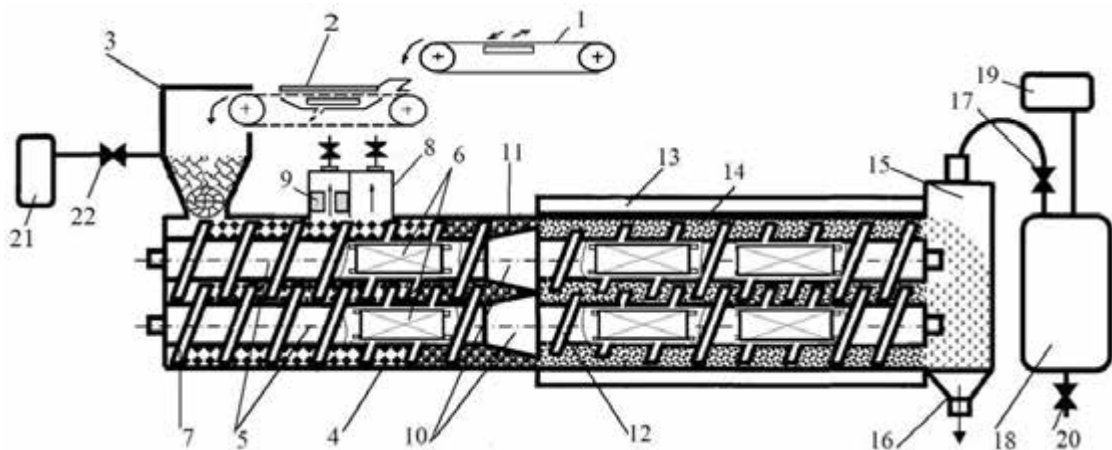


Рис.2.4. Конструктивна схема технологічної лінії для переробки кератиновмісних відходів і сировини у білковий концентрат

Далі сировину подають у робочу зону шнекової установки, в корпусі ⁴ якої розташовані ротори-шнеки ⁵. У внутрішній порожнині роторів-шnekів ⁵ розміщені індуктори обертового магнітного поля ⁶, що підключені до джерела змінного струму і збуджують вихрові струми в роторах-шнеках з гвинтовою навивкою ⁷, за рахунок яких останні нагріваються. При взаємодії обертових магнітних полів і вихрових струмів створюються результуючі електромагнітні

моменти, що обертають ротори-шнеки 5 і, відповідно, виконуються операції транспортування, змішування, тонкого подрібнення і водного гідролізу кератину та короткочасного високотемпературного гідролізу пухо-пир'яної сировини у тонкому шарі з впливом магнітного поля і поверхневих електричних потенціалів.

У першій робочій зоні шнекової установки одночасно здійснюють її ущільнення в 8-10 разів, нагрів при тиску 0,5-5,0 МПа до температури 60°C, вплив градієнтного магнітного поля частотою 1 - 50Гц з індукцією 0,025Т і менше для гальмування процесу випаровування вологи.

Одночасно у першій робочій зоні шнекової установки здійснюють деаерацію за допомогою камери вакуумування 8 з двома ділянками вздовж каналу робочої зони шнекової установки, на одній з яких розташована зона з постійними магнітами 9, що створюють високу магнітну напруженість для всмоктування парамагнітного кисню, а друга ділянка камери вакуумування, яка розташована напроти контактуючих з сировиною поверхнях шнека з магнітною індукцією 0,025Т і індукторів обертового магнітного поля – для 80% інших газів, об'ємна магнітна сприйнятливості яких на два порядки нижча, ніж у кисню. При цьому на другій ділянці вакуумування усі діаманітні гази відштовхуються від контактуючих з сировиною намагнічених областей роторів-шnekів 5. У першій робочій зоні шнекової установки максимально прибираються порожнечі з пухо-пир'яний суміші, в яких можливе перетворення води на пару і надалі, за рахунок видалення кисню, виключаються втрати якості одержуваного продукту внаслідок окислення. В кінці першої робочої зони за допомогою конусів 10 відбувається подальше ущільнення сировини до утворення пробки 11 між корпусом 4 та конусами 10 при тиску від 1 МПа до 20 МПа. Висока міцність ущільнення сировини, гарантує надійний захист персоналу від випадкового викиду із зони гідролізу. Після переходу ущільненої сировини у другу робочу зону шнекової установки здійснюють вплив на сировину градієнтного магнітного поля частотою 1 - 50Гц з індукцією 0,065Т і нагрів до температури 180-260°C з чотирьохстороннім підведенням теплової енергії до шару перо-пухової сировини. При цьому її розпушують зменшеною в діаметрі частиною

витків 12 роторів-шнеків, перемішують і подрібнюють до отримання подрібненої маси, схожої на тісто з включеннями окремих волокон. За наявності підведення теплової енергії як збоку обігрівного пристрою 13, так і збоку роторів-шнеків 5 з витками 12, значно підвищується швидкість нагрівання сировини 14, рівномірність її температурного поля. Крім того, значно підвищується енергоефективність процесу виробництва білкового борошна за рахунок використання дисипативної складової електромеханічної частини установки.

Водна компонента перо-пухової сировини при транспортуванні в каналі робочої зони шнекової установки піддається впливу напруженностей електромагнітного поля. Кратність магнітної обробки води значно збільшує рН водної компоненти, при цьому спостерігаються кілька процесів:

- зміщення електромагнітним полем рівноваги між структурними гідратованими іонами і компонентами води;
- збільшення центрів кристалізації солей, розчинених в заданому обсязі води, на мікровключеннях з дисперсних ферочасток.

Вода містить приблизно 0,2 мг/л заліза. У воді залізо найчастіше зустрічається у вигляді іонів Fe^{2+} і Fe^{3+} , які утворюють органічні і неорганічні сполуки. В ході сольвататермічного процесу іони Fe^{3+} спочатку адсорбуються і збагачуються на поверхні перо-пухової сировини і частково відновлюються до Fe^{2+} за рахунок неї, що забезпечує *in situ* утворення Fe_3O_4 . Суть сольватаційного явища полягає в іонному русі в розчині разом з деякою частиною розчинника, що вступив з ними у взаємодію, і порушення ними структури розчинника. Після впливу на водневу компоненту низькочастотного змінного магнітного поля в діапазоні частот 1-50 Гц значно підвищується розчинююча здатність води. Максимальна розчинююча здатність спостерігається при впливі магнітного поля з частотою 2-3 Гц. Іони Fe^{3+} підсилюють перетворення перо-пухової сировини в вуглецевий матеріал і, таким чином, викликають утворення нанокompозитів Fe_3O_4 / C .

Формування парамагнітного композиту Fe_3O_4 / C на першій стадії термічної обробки вологої кератинової сировини створює далі умови більшого

ущільнення і тиску у тонкому шарі за рахунок зовнішнього магнітного поля ротора-шнека, що веде до більш інтенсивного процесу гідролізу кератинової сировини.

За хімічним складом кератинова сировина є природним концентратом білка, однак у натуральному стані пир'яна кератинова сировина не розчиняється у воді, не перетравлюється і не засвоюється в організмі тварин через наявність у молекулі білка дисульфідних зв'язків типу -S-S- між поліпептидними ланцюгами. Кератин еластичний, здатний розтягуватися при обробці гарячою водою і скорочуватися при висушуванні, що пояснюється переходом спіралевидного α -кератину в β -кератин, який має β -складчасту структуру. Механізм переходу пов'язаний з проникненням молекул води всередину фібрилярної структури і їх конкуренції при утворенні водневих зв'язків. За наявності магнітного поля відбувається інтенсифікація цих процесів за рахунок дії сил Лоренца на дипольні молекули води. При цьому спостерігається зменшення числа водневих зв'язків в білку. Чим вище температура, тим менше число міжмолекулярних водневих зв'язків, тобто менше міцність вихідного кератину. Крім того, вплив магнітного поля на структуру води веде до підвищення рН, продукує високу каталітичну ефективність, що сприяє здатності розщеплювати високонерозчинні кератинові субстрати до продуктів з доданою харчовою цінністю. Експериментально доведено, що оптимальне значення рН, прийняте для екстракції кератинів, знаходиться в межах 6,5–8,5, оскільки кератини не можуть розчинятися в кислому рН і, ймовірно, піддаються розкладу при лужному рН [20]. Тому у своїх дослідженнях ми використали саме цей діапазон рН.

Повсюдна поширеність аеробних спороутворюючих бактерій роду *Bacillus* пов'язана з їх здатністю зберігати високу терморезистентність і життєздатність в різних екстремальних умовах. Бацили широко поширені в воді і характеризуються високою ферментативної активністю, що може зумовити істотне регулювання і трансформування біоматеріалів. Перо-пухова сировина з лінії убою послідовно проходить операції очищення від залишків крові

промиванням гарячою водою і транспортування. При цьому створюються умови для інкубації бактерій роду *Bacillus subtilis* RM-01 і продукції β -кератинази при твердофазній ферментації з використанням курячого пера як субстрату. Магнітні наночастки Fe_3O_4 разом з β -кератиназою створюють каталітичну композицію, яка додатково впливає на прискорення процесу розщеплювання кератинового субстрату до продуктів з доданою харчовою цінністю.

Передбачено, при необхідності, подавання до бункера завантажувального пристрою 3 сирові кератинази *Bacillus cereus* РСМ 2849 з резервуара 21 через швидкодіючий електромагнітний клапан 22 для проведення часткового гідролізу свинячої щетини. Препарати, що містять куряче перо, були описані як найкраще джерело кератину щодо виробництва кератинази різними бактеріями [21].

Згідно запропонованої електротехнології, при дії на дисульфід відновника, а саме пероксиду водню, який утворюється при впливі магнітного поля на воду у суміші піря, ковалентні зв'язки розриваються:



На виході шнеків розміщено герметичну ємність 15 для прийому обробленої сировини, де після закриття вузла вивантажування готового продукту 16, сировину піддають обробці вакуумними імпульсами шляхом швидкого з'єднання за допомогою швидкодіючого клапану 17 та ресиверу 18, в якому попередньо був створений вакуум за допомогою вакуумного насоса 19. Вакуумні імпульси діють не лише на сировину розміщену безпосередньо в герметичній ємності, але й на частину сировини, що знаходиться в робочій зоні шнеків. При чому та частина сировини, що знаходиться в робочій зоні шнеків, піддається більшому впливу вакуумних імпульсів за рахунок надлишкового тиску в зоні. Частково заповнена сировиною герметична ємність, періодично піддається впливу вакуумних імпульсів, за рахунок чого здійснюється видалення надлишку вологи з сировини до значення 8-12% та процес закипання та вибуху вологи в структурі сировини. У нижній точці ресивера 18 змонтований кран 20 для зливу рідини, яка в ньому накопичилася.

Для кожної з операцій необхідна швидкість обертання і температура зовнішніх поверхонь роторів-шнеків встановлюється шляхом зміни глибини проникнення обертового магнітного поля у масив роторів та співвідношень електромагнітних моментів, які регулюється зміною частоти і напруги джерела живлення. Для максимального збереження амінокислот і якості жиру тривалість високотемпературної обробки в шнековій установці встановлена не вище 110 секунд і повинна регулюватись на рівні десятисекундного діапазона.

Внаслідок сумісної дії усіх факторів в оброблюваній білковій сировині проходять фізико-хімічні перетворення — відбувається процес гідролізу, який руйнує зв'язки, як між окремими частинами розгалужених макромолекул протеїну, так і між активними групами в межах амінокислотних елементів. Білок втрачає ферментний опір, завдяки чому набуває властивості легко перетравлюватися, підвищується його засвоюваність.

2.3. Методика визначення еквівалентної потужності шнекового електромеханічного гідролізера на транспортування й нагрівання вологих кератиновмісних відходів

Енергетичні процеси вздовж каналу робочої частини шнекового електромеханічного гідролізера (ШЕМГ) розглядаємо в адіабатичному та одночасно ізохорному режимі (термодинамічний процес, який відбувається при сталому об'ємі), оскільки система герметична і теплоізольована від навколишнього середовища. Конструктивна схема робочої частини шнекового електромеханічного гідролізера і його плоска модель при транспортуванні й нагріванні кератиновмісних відходів представлені на рис.2.5.

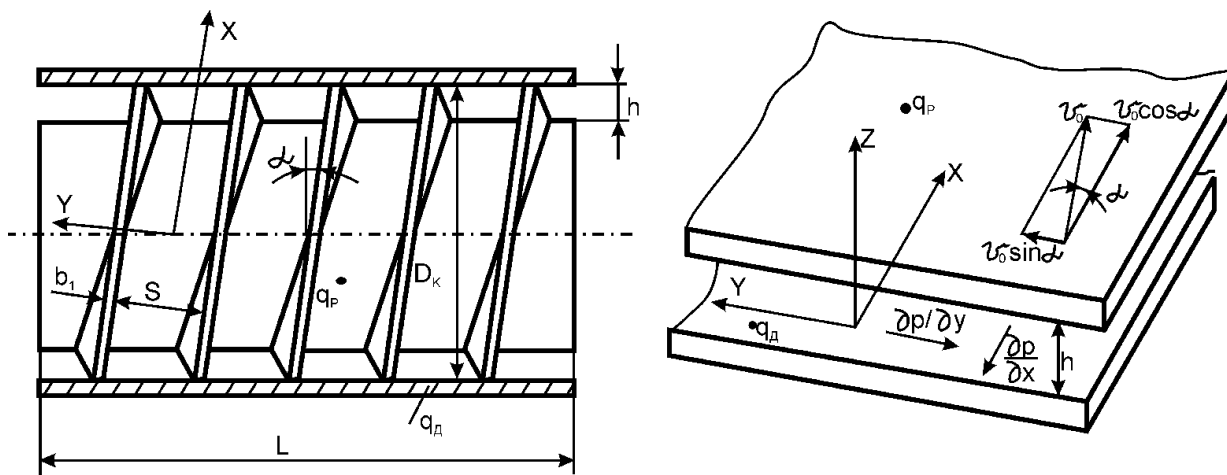


Рис.2.5.Конструктивна схема робочої частини шнекового електромеханічного гідролізера

Розглянемо рух матеріалу зі ступеневим реологічним рівнянням у гвинтовому каналі глибиною h , утвореному гвинтовими лопатями із кроком S , днищем і поверхнею ротора ШЕМГ. Джерелами нагрівання матеріалу виступають ізотермічні поверхні ротора й днища (корпуса) шнека з питомим тепловиділенням відповідно q_P і q_D , а також нагрівання матеріалу від часткової дисипації механічної енергії в умовах складного зрушення й грузлого тертя.

Ми використовуємо плоску модель гвинта, тобто розглядаємо рух матеріалу між нескінченними паралельними пластинами. Нижня пластина нерухлива, а швидкість верхньої має дві складові: уздовж осі каналу й у поперечному напрямку. По зазначених осях у зазорі h між пластинами діють постійні по величині градієнти тиску $\partial p / \partial x > 0$, $\partial p / \partial y > 0$. Оскільки в конструкції ШЕМГ ширина каналу S більше його глибини h впливом ребер спочатку зневажаємо, щоб не ускладнювати картину руху.

Рівняння руху матеріалу в каналі шнека мають вигляд:

$$\frac{d\tau_{xz}}{dz} = \frac{\partial p}{\partial x}; \quad \frac{d\tau_{yz}}{dz} = \frac{\partial p}{\partial y}. \quad (2.2)$$

У результаті інтегрування рівняння (2.2) визначаємо дотичні напруги:

$$\tau_{xz} = \frac{\partial p}{\partial x}(Z - C_1 h); \tau_{yz} = \frac{\partial p}{\partial y}(Z - C_2 h), \quad (2.3)$$

де C_1 і C_2 – постійні інтегрування.

У якості реологічного рівняння використовуємо узагальнений закон, що враховує експонентну залежність в'язкості продукту від температури:

$$\Pi_\tau = \frac{B_1}{\exp(n_o T)} \left(\frac{I_n}{2} \right)^{-m/2} \cdot D_\varepsilon, \quad (2.4)$$

де B_1 , n_o і m - реологічні константи й узагальнений індекс плинучості, що не залежать від температури матеріалу; D_τ - девіатор тензора напруг; D_ε - тензор швидкостей деформації; I_n - квадратичний інваріант тензора швидкостей деформації.

Постійні інтегрування C_1 і C_2 мають простий фізичний зміст. Це ординати крапок на епюрі швидкостей, у яких відповідно в поздовжньому й поперечному напрямках градієнти швидкості, а отже, і напруги зрушення звертаються в нуль. З іншого боку, вони є при $Z=0$ безрозмірними дотичними напругами на днище шнека. Для нашої моделі:

$$\frac{I_n}{2} = \left(\frac{\partial \omega_x}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial \omega_y}{\partial z} \right)^2. \quad (2.5)$$

Граничними умовами будуть наступні:

$$\omega_x = 0, \omega_y = 0 \text{ при } Z = 0;$$

(2.6)

$$\omega_x = \eta v_o \cos \alpha; \omega_y = \eta v_o \sin \alpha \text{ при } Z = h,$$

де η - коефіцієнт проковзування; ω_x, ω_y - проекції швидкості часток матеріалу на осі x і y ; v_o - окружна швидкість гвинта шнека.

Складовій теплового потоку, пов'язаної з теплопровідністю, зневажаємо, беручи в увагу тільки конвективну складову.

Рівняння енергетичного балансу ШЕМГ при транспортуванні й нагріванні кератиновмісних матеріалів для елементарного обсягу матеріалу, що заповнює відрізок каналу довжиною dx і шириною s , має вигляд

$$\begin{aligned} & \frac{B_1}{\exp(n_o T)} \frac{(\eta v_o)^{2-m}}{h^{1-m}} F \cdot P_x \cdot S \cdot \varepsilon \cdot \cos \alpha \cdot dx + 2\alpha \cdot (S + h) \cdot T_{\Delta cp} dx = \\ & = C_M \rho_M \cdot U_x \cdot U_{\max} \cdot \eta v_o h \cdot S \cdot dT + \\ & + U_x \cdot U_{\max} \cdot \eta v_o h \cdot S \cdot p_x \frac{B_1}{\exp(n_o T) h^{2-m}} \left(\frac{\eta v_o}{A} \right)^{1-m} \cos \alpha \cdot dx, \end{aligned} \quad (2.7)$$

де m – аномалія в'язкості (для вязкопластичного матеріалу $m \leq 1$);

$$P_x = \frac{\partial p / \partial x}{(\partial p / \partial x)_{\max}} - \text{безрозмірний поздовжній градієнт тиску};$$

$$\varepsilon = (1 - C_1) \cos \alpha + \operatorname{tg} \alpha (1 - C_2) \sin \alpha;$$

C_M, ρ - відповідно теплоємність і щільність матеріалу;

U_x, U_{\max} – поточне й максимальне значення витрати матеріалу;

$T_{\Delta cp}$ - середнє перевищення температури стінок каналу над температурою матеріалу;

α - коефіцієнт тепловіддачі поверхонь, що гріють, шнека;

$$A = (1 - \xi_m)^\beta - \xi_m^\beta; F = \left(\frac{\vartheta}{A} \right)^{\frac{1}{\beta-1}}, \text{ де } \vartheta = \frac{2-m}{1-m}.$$

Безрозмірна координата ξ має три основні значення: $\xi_o = Z_o/h$; Z_o – координата точки на епюрі швидкостей, у якій напруга й градієнт дорівнюють

нулю; $\xi = Z/h$; $\xi_{\max} = C_1 = C_2$ - відповідає режиму закритого виходу шнека й залежить від аномалії в'язкості m .

Перша складова лівої частини рівняння (2.7) являє собою потужність, затрачувану ШЕМГ на подолання сил грузлого тертя в шнеку. Друга складова – тепло, підведене від стінок каналу до матеріалу за рахунок теплообміну відповідно до закону Ньютона:

$$dP_{\alpha} = 2\alpha \cdot T_{\Delta cp} \cdot (S + h) \cdot dx, \quad (2.8)$$

де $T_{\Delta cp}$ - середнє значення різниці температури стінок каналу й температури матеріалу. Відповідне значення різниці температури може підтримуватися в ущільнюючій і реакційній порожнинах робочої камери ШЕМГ постійним за рахунок системи автоматичного регулювання температури.

Коефіцієнт тепловіддачі α визначається виходячи із критеріального рівняння теплообміну:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}. \quad (2.9)$$

Число Рейнольдса для руху матеріалу при обертанні шнека ШЕМГ:

$$Re = (\rho/\mu) R_{cp} \cdot h \cdot \omega,$$

де R_{cp} - середній радіус циліндрів (ротор і днище); μ - ефективна в'язкість на середньому радіусі; ω - кутова швидкість.

Температурна залежність в'язкості $\mu(T)$ виражається напівемпіричною формулою Рейнольдса $\mu = \mu_0 \exp(-aT)$. Температурні зміни суттєво впливають на в'язкість матеріалу. Наприклад, зміни температури на 100°C викликають зміни в'язкості в 30 раз. З урахуванням температурної залежності в нашому випадку коефіцієнт тепловіддачі на підставі формули (3.8) буде мати вигляд:

$$\alpha = 0,023\lambda^{0,6}(C \cdot \rho)^{0,8} \left(\frac{2S \cdot h}{S + h} \right)^{0,2} \times$$

$$\times \frac{(\eta v_o)^{0,8+m} \varepsilon^{\frac{m}{2(1-m)}} (p_x \cdot F \cos \alpha)^{\frac{m}{1-m}} \exp(n_o T)}{B_1 h^m}. \quad (2.10)$$

Перша складова правої частини рівняння (2.7) являє собою сумарну теплову потужність, що йде на нагрівання матеріалу, а друга – на його транспортування.

Підставляючи значення коефіцієнта тепловіддачі (2.10) в (2.7) і інтегруючи отримане рівняння при $T(O) = T_e$, одержуємо

$$\exp(n_o T) = \frac{n_o B_1 (\eta v_o)^{1-m}}{C_m \rho_m h^{2-m}} F \cdot p_x \cdot \cos \alpha \cdot \gamma \cdot S \cdot X + \exp(n_o T_o), \quad (2.11)$$

де

$$\gamma = \varepsilon + 0,046\lambda^{0,6}(c\rho)^{0,8} \left(\frac{2Sh}{S+h} \right)^{0,2} (\eta v_o)^{2m-1,2} \cdot \frac{(S+h)T_{\Delta cp}}{p_x \cdot F \cdot \cos \alpha} + \frac{U_x \cdot U_{\max}}{F}.$$

Для визначення температури матеріалу на виході ШЕМГ у формулу (2.11) уведемо $x=Lx$, де Lx – довжина гвинтового каналу. У результаті одержимо

$$T = T_o + \Delta T; \quad \Delta T = \frac{1}{n_o} \ln \left[\frac{n_o B_1 (\eta v_o)^{1-m} \cdot F \cdot p_x \cdot \cos \alpha}{C_m \rho_m \exp(n_o T_o) h^{2-m}} \cdot \gamma L_x + 1 \right]. \quad (2.12)$$

Оскільки температура матеріалу по довжині каналу міняється, градієнт тиску також є величиною змінної

$$\Delta p = p - p_o = C_m \rho_m \frac{U_x \cdot U_{\max}}{\varepsilon - U_x \cdot U_{\max}} \frac{1}{n_o} \ln \left[\frac{n_o B_1 (\eta v_o)^{1-m} \cdot F \cdot p_x \cdot \cos \alpha}{C_m \rho_m \exp(n_o T_o) h^{2-m}} \cdot \gamma \cdot L_x + 1 \right]. \quad (2.13)$$

Еквівалентна потужність ШЕМГ, затрачувана на транспортування й нагрівання матеріалу до температури T визначимо при граничній умові $N(O)=0$ і використанні рівняння (2.12) з наступною підстановкою $x = Lx$:

$$P = \frac{U_x \cdot U_{\max} \cdot \eta v_o}{\varepsilon - U_x \cdot U_{\max}} h S \cdot \varepsilon \rho \cdot \Delta T. \quad (2.14)$$

Потужність стороннього нагрівання P_α від джерел змінної потужності q_p і q_d визначається шляхом інтегрування другої складової лівої частини рівняння (2.7). Частка механічної потужності ШЕМГ, що витрачається на транспортування й частковий дисипативний розігрів матеріалу: $P_{mex} = P - P_\alpha$. Активна потужність, споживана ШЕМГ з мережі, може бути представлена наступними складовими:

$$P = m_1 U_1 \cdot I_1 \cos \varphi_1 = P_{M1} + P_{C1} + P_2 + P_{M2} + P_{mex} + P_{доб}. \quad (2.15)$$

де $P_{M1} = m_1 I_1^2 r_1$ - втрати в міді обмотки статора;

$P_{C1} = m_1 E_1 \cdot I_o \cos \varphi_o$ - втрати в сталі статора;

P_2 – механічна потужність на роторі ШЕМГ, що витрачається на транспортування і перемішування матеріалу;

$P_{M2} = m_1 I_2'^2 \cdot r_2'$ - електрична потужність в роторі, яка дисипує в тепло;

P_{mex} – механічні втрати на тертя в підшипниках;

$P_{доб}$ – додаткові втрати.

Втрати в сталі ротора окремо не виділяються, оскільки втрати в масивному роторі в комплексі представляють і втрати в «міді» і втрати в сталі.

Споживана ШЕМГ з мережі реактивна потужність буде:

$$Q_1 = m_1 U_1 I_1 \sin \varphi_1. \quad (2.16)$$

Баланс реактивної потужності ШЕМГ формується наступними складовими:

$$Q_1 = Q_{\sigma 1} + Q_M + Q_{\sigma 2} \quad (2.17)$$

де $Q_{\sigma 1} = m_1 I_1^2 X_1$ - реактивна потужність, що витрачається на створення магнітного поля розсіяння обмотки статора;

$Q_M = m_1 E_1 I_O \sin \psi_O$ - потужність, що витрачається на створення магнітного потоку в магнітопроводі ШЕМГ;

$Q_{\sigma 2} = m_1 I_2^2 X_2'$ - реактивна потужність магнітного поля розсіяння масивного ротора.

Активні і індуктивні опори статора і ротора визначаються в межах відповідних активних зон ШЕМГ. Необхідно відзначити, що представлені у виразі (2.15) втрати активної потужності в статорі, механічних вузлах і додаткові втрати, є умовними «втратами», оскільки вони дисипують в тепло і, зрештою, також беруть участь у формуванні гріючої потужності ШЕМГ.

2.4. Висновки до розділу 2

Кератинова сировина є діамагнітним матеріалом. Магнітна сприйнятливність кератинового матеріалу значною мірою залежить від амінокислотної послідовності в молекулярній структурі. На кафедрі електротехніки, електромеханіки та електротехнологій здійснено розрахунок амінокислотного складу PDB-файлу молекулярної структури курячого пір'я.

З використанням ІЧ-Фур'є спектрометра Thermo Scientific™ Nicolet™ iS50 з інтегрованим програмним забезпеченням визначено спектри FTIR свинячої щетини після гідротермічної обробки контрольного зразку і зразку при впливі постійного магнітного поля 65 мТ. Якщо розділити область спектру на компоненти, після гідротермічної співвідношення часток вмісту α -спіралі та β -

листа зміщується в бік домінування α –спіралі. Напроти, для пташиного пір'я виявилася перевага частки β -листа.

Розроблені технологічні параметри і режими переробки кератиновмісної сировини із застосуванням електромеханічного гідролізера.

Запропонована методика визначення еквівалентної потужності шнекового електромеханічного гідролізера на транспортування й нагрівання вологих кератиновмісних відходів.

РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ ДВОШНЕКОВОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА

3.1. Модель полеорієнтованого керування

Двошнековий електромеханічний гідролізер – нова електрична машина і більшість його параметрів та характеристик все ще потребують детального обґрунтування. У випадку орієнтації з низькою швидкістю і для керування положенням з використанням датчика потоку, що оснований на інтеграції, якій властива тенденція дрейфу, може бути не прийнятним для складних електромеханічних систем. Популярною альтернативою є непряме керування з орієнтацією на поле без вимірювання потоку в повітряному зазорі [24]. З існуючих на сьогоднішній день досліджень, відома повна картина магнітного поля двошнекового електромеханічного гідролізера [25], тому для його керування доцільно використовувати метод полеорієнтованого керування [26]. За таких умов обертовий момент може регулюватись q компонентою струму статора i_{qs}^e і ковзанням $\omega_e - \omega_r$. Потік ротора можна регулювати d компонентою струму статора i_{ds}^e . Задаючи деяке бажане значення магнітного потоку ротора λ_r^* , бажане значення d компоненти струму статора i_{ds}^{e*} може бути отримане з рівняння:

$$\lambda_{dr}^* = \frac{r_r' L_m}{r_r' + L_r p} i_{ds}^{e*} \quad (3.1)$$

де λ_{dr}^* – бажане значення d компоненти магнітного потоку ротора, Вб; r_r' – опір ротора, Ом; L_m – взаємодукація обмоток статора, Тл; p – кількість полюсів.

Для бажаного значення обертового моменту T_{em}^* при певному значенні потоку ротора, бажане значення q компоненти струму статора i_{qs}^e описується рівнянням [26]:

$$T_{em}^* = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{L_m}{L_r} \lambda_{dr}^{e*} i_{qs}^{e*} \quad (3.2)$$

де P – потужність, Вт; L_r' – перехідна індуктивність ротора, Гл.

Оскільки за певної орієнтації $i_{dr}^{e'}$ дорівнює нулю, а $\lambda_{dr}^{e'} = L_m i_{ds}^{e'}$, тоді ковзання описується рівнянням:

$$\omega_2^* = \omega_e - \omega_r = \frac{r_r' i_{qs}^{e*}}{L_r' i_{ds}^{e*}} \quad (3.3)$$

де ω_2^* – бажана кутова швидкість ротора, рад/с; ω_e – кутова швидкість обертання магнітного поля, рад/с; ω_r – кутова швидкість обертання ротора, рад/с.

Вищевказана умова формує розрахунок рівнянь напруги ротора, а якість розв'язку цих рівнянь залежить від точності обраних параметрів. Оскільки значення індуктивності намагнічування та опору ротора постійно змінюються, для забезпечення вірної орієнтації застосовуються методи адаптації. Орієнтація поля – це сума кута повороту ротора θ_2 , інтегрованого по ковзанню, від датчика положення ротора θ_r . У випадку якщо відомі ортогональні значення датчика положення $\cos \theta_r$ і $\sin \theta_r$, значення $\cos p$ і $\sin p$ можуть бути згенеровані згідно наступних рівнянь [26]:

$$\cos p = \cos(\theta_r + \theta_2) = \cos \theta_r \cos \theta_2 - \sin \theta_r \sin \theta_2 \quad (3.4)$$

$$\sin p = \sin(\theta_r + \theta_2) = \sin \theta_r \cos \theta_2 + \cos \theta_r \sin \theta_2 \quad (3.5)$$

Відповідні керуючі команди регуляторів магнітного потоку і обертового моменту являються деякими значеннями команд i_{qs}^{e*} та i_{ds}^{e*} в орієнтованій на поле системі відліку координат ротора. Тому перетворення qd в abc слідує перетворенням qde в qds та qds в збалансований abc :

$$i_{qs}^{s*} = i_{qs}^{e*} \cos p + i_{ds}^{e*} \sin p \quad (3.6)$$

$$i_{ds}^{s*} = -i_{qs}^{e*} \sin p + i_{ds}^{e*} \cos p \quad (3.7)$$

Орієнтований на поле струму статора qs визначається з перетворення вимірюваного значення струму abc в qd і значення p згідно наступних рівнянь:

$$i_{qs}^e = i_{qs}^s \cos p - i_{ds}^s \sin p \quad (3.8)$$

$$i_{ds}^e = i_{qs}^s \sin p + i_{ds}^s \cos p \quad (3.9)$$

Бажана швидкість обертання ротора, менша ніж номінальна з визначеною номінальною напругою живлення описується рівняннями:

$$(v_{qs}^e - jv_{ds}^e) = (r_s + j\omega_e L_s')(i_{qs}^e - ji_{ds}^e) + (E'_{qs} - jE'_{ds}) \quad (3.10)$$

$$T_0' = \frac{x'_{lr} + x_m}{\omega_e r_r'} \quad (3.11)$$

де v_{qs}^e , v_{ds}^e – q та d компоненти напруги, В; r_s – опір статора, Ом; L_s' – перехідна індуктивність статора, Гл; E'_{qs} , E'_{ds} – q та d компонентів напруги намагнічування, В; x'_{lr} – опір витікання ротора, Ом; x_m – опір намагнічування статора, Ом.

3.2. SIMULINK модель непрямого керування з орієнтацією на поле

MATLAB & Simulink модель непрямого керування з орієнтацією на поле виконано для одного електромагнітного модуля, який складається з одного статора і відповідної ділянки феромагнітного ротора. На рис. 3.1 зображено загальну SIMULINK модель непрямого керування з орієнтацією на поле. Для зменшення тривалості розрахунку моделі не враховуються перехідні процеси, що виникають в ШИМ-перетворювачі під час регулювання, враховуються лише основні складові вихідних напруг. На рис.3.2 представлено реалізацію блоку непрямого керування з орієнтацією на поле.

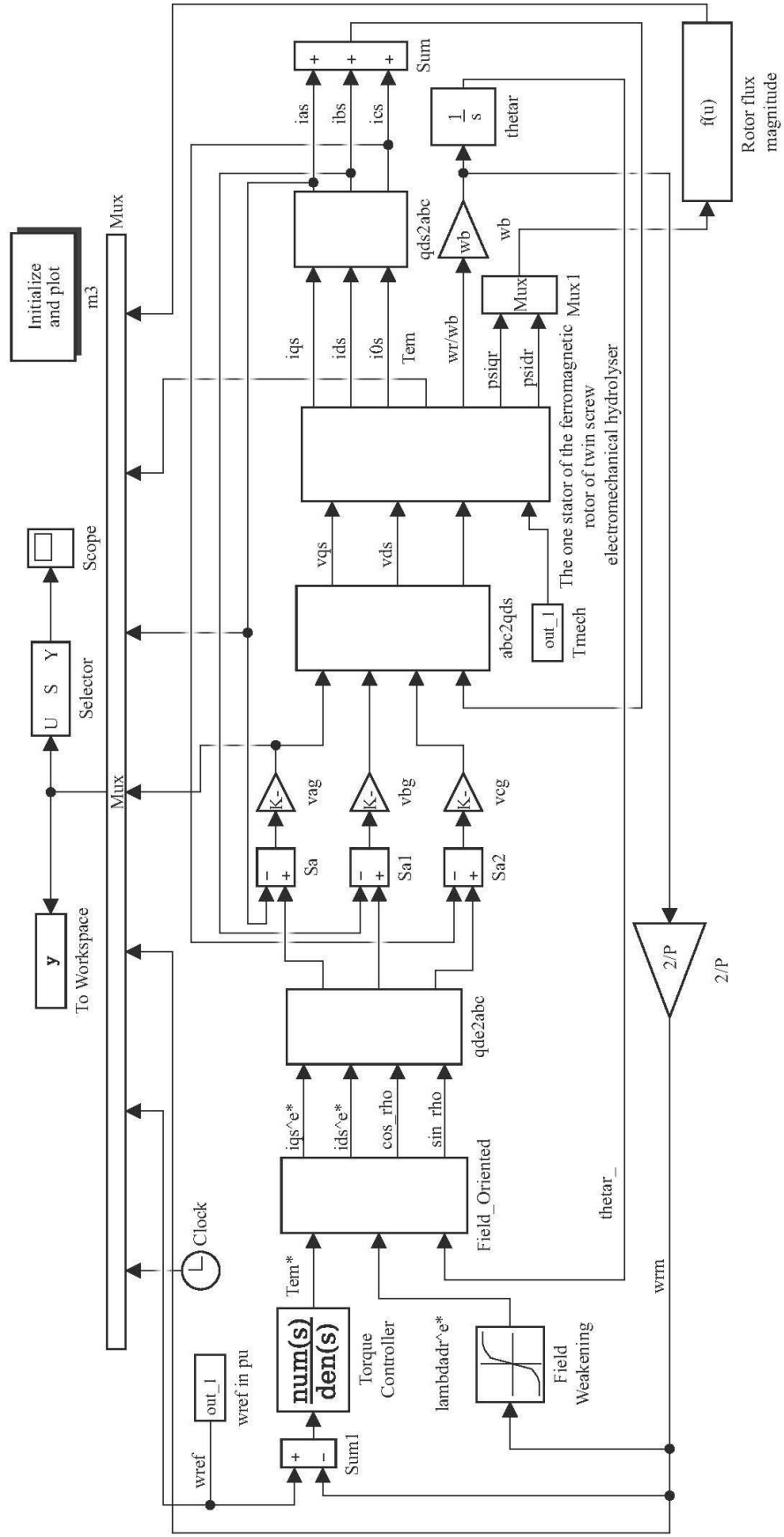


Рис. 3.1.1. –MATLAB & Simulink модель непрямого керування з орієнтацією на поле

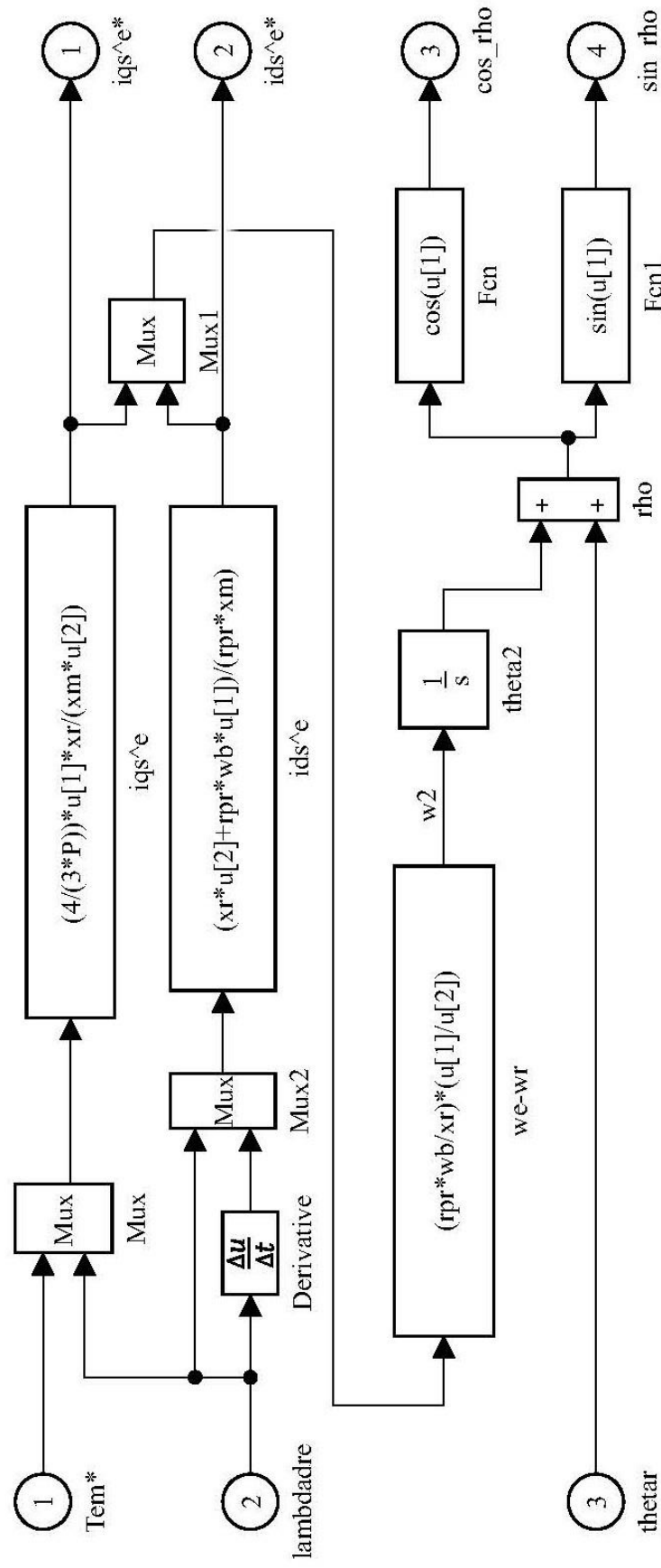


Рис.3.2. –Реалізація блоку непрямого керування з орієнтацією на поле

В середині блоку відбувається розрахунок значень i_{ds}^* , i_{qs}^* , ω_2^* , кут p – сума кута повороту ротора θ_2 та кута інтегрованого по ковзанню від датчика повороту ротора θ_r . Генерація опорних струмів abc відбувається в середині блоку qde2abc (рис. 3.1).

Під час моделювання було реалізовано необхідний вид керування – ступінчата зміна обертового моменту за бажаного, фіксованого, значення кутової швидкості обертання (рисунки 3.3-3.11).

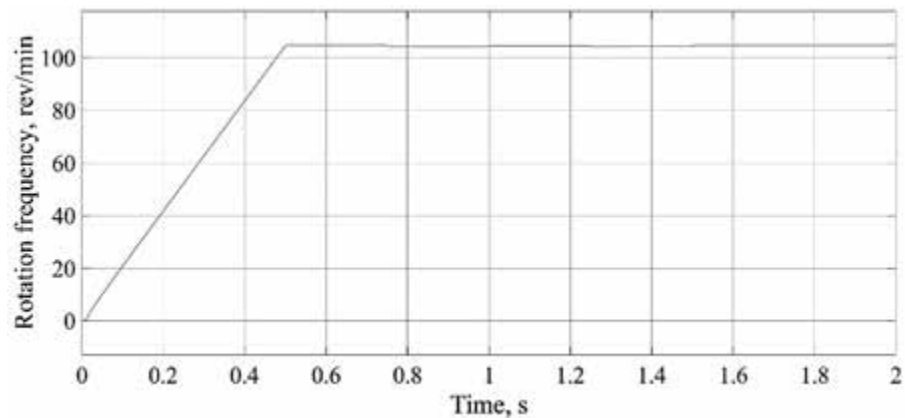


Рис.3.3. Кутова швидкість обертання під час запуску та навантаження, об/хв

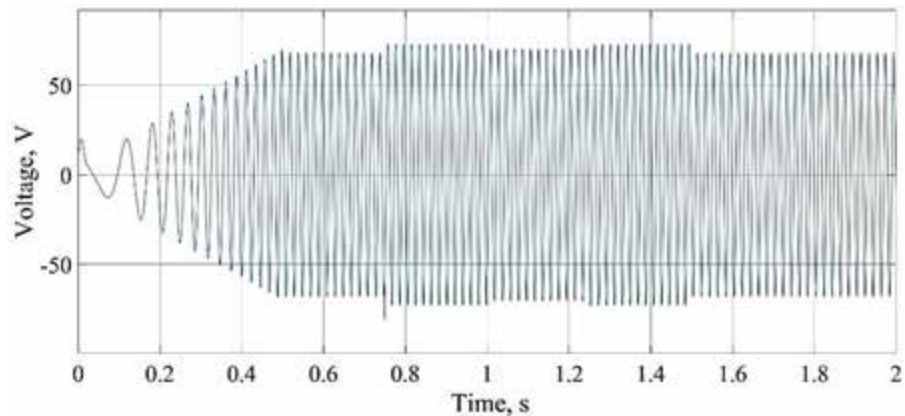


Рис.3.4. Напруга під час запуску та навантаження, В

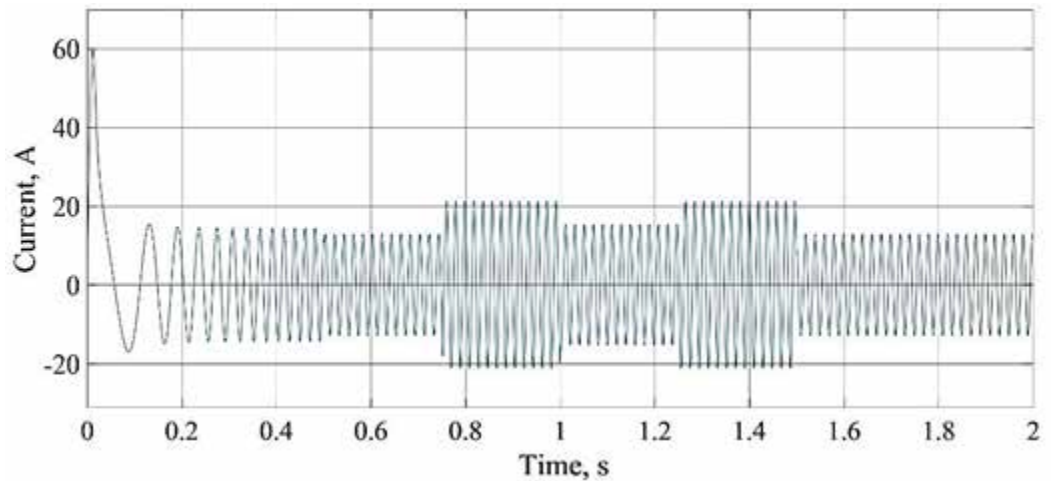


Рис.3.5. Струм під час запуску та навантаження, А

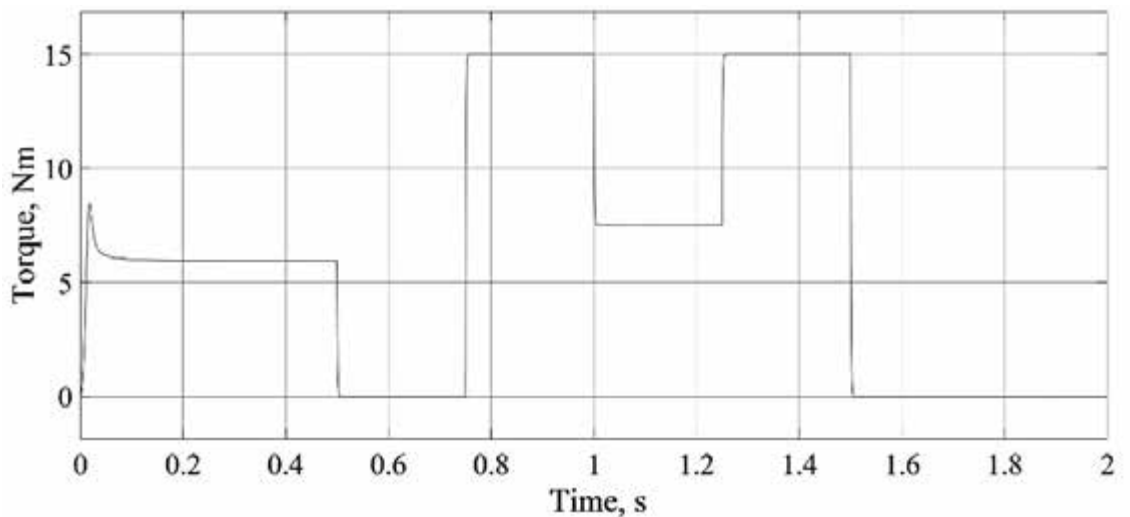


Рис.3.6. Обертовий момент під час запуску та навантаження, Н·м

Оскільки двошнековий електромеханічний гідролізер відноситься до пристроїв, що об'єднують декілька технологічних процесів, існує необхідність в підтриманні точних параметрів технологічного процесу. Результати моделювання отримані за таких умов: час моделювання від 0 до 2 с з кроком в 0,5 с; фіксоване значення кутової швидкості при ступінчастій зміні обертового моменту дорівнює номінальному значенню; часовий масив зміни обертового моменту становить [0 0,5 0,75 1 1,25 1,5] с; часовий масив циклічної зміни кутової швидкості становить [0 0,25 0,5 1 1,25 1,7] с. З результатів моделювання помітно доцільність застосування методу непрямого керування з орієнтацією на поле в двошнековому електромеханічному гідролізері.

3.3. Висновки до розділу 3

Двошнековий електромеханічний гідролізер – нова електрична машина і більшість його параметрів та характеристик все ще потребують детального обґрунтування. У випадку орієнтації з низькою швидкістю і для керування положенням з використанням датчика потоку, що оснований на інтеграції, якій властива тенденція дрейфу, може бути неприйнятним для складних електромеханічних систем.

Альтернативою є непряме керування з орієнтацією на поле без вимірювання потоку в повітряному зазорі. З існуючих на сьогоднішній день досліджень, відома повна картина магнітного поля двошнекового електромеханічного гідролізера, тому для його керування доцільно використовувати метод полеорієнтованого керування.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ, ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ ТА МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА ДВОШНЕКОВОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА

4.1. Конструкція та принципові схеми двошнекового електромеханічного гідролізера

На рис.4.1 представлено загальний вид двошнекового електромеханічного гідролізера, а в табл. 4.1 – найменування його відповідних вузлів і деталей.

Таблиця 4.1 – Вузли і деталі двошнекового електромеханічного гідролізера

Поз.	Назва	Примт.
1	Рама монтажна	
2	Блок управління	
3	Шнек 1	
4	Шнек 2	
5	Мотор - редуктор	
6	Вакумний насос	
7	Ресивер	
8	Вакууметр	
9	Комплект гнучких шлангів і з'єднання	
10	Камера готового продукту	
11	Обмежувач осьового зміщення шнека 1	
12	Гнучке з'єднання	
13	Підшипник ковзання 1	
14	Підшипник ковзання 2	
15	Підшипник ковзання 3	
16	Підшипник ковзання 4	
17	Маслянка для змащення	2 шт.
18	Нагрівач електронний стрічковий	8,3 м, потужність 2,5 кВт
19	Теплоізоляція	
20	Корпус зовнішній	
21	Термодавач	2 шт.
22	Постійний магніт N	
23	Постійний магніт S	
24	Корпус шнека	
25	Мотор-редуктор завантажувача	0,5 кВт, 0..60 об/хв
26	Роторний завантажувач	
27	Фіксатор осьового переміщення шнеків	
28	Ланцюгова передача	
29	Натяжний ролик	
30	Кранштейн	
31	Бункер завантажувача	
32	Ресивер відкачування кисню	
33	Шибер	

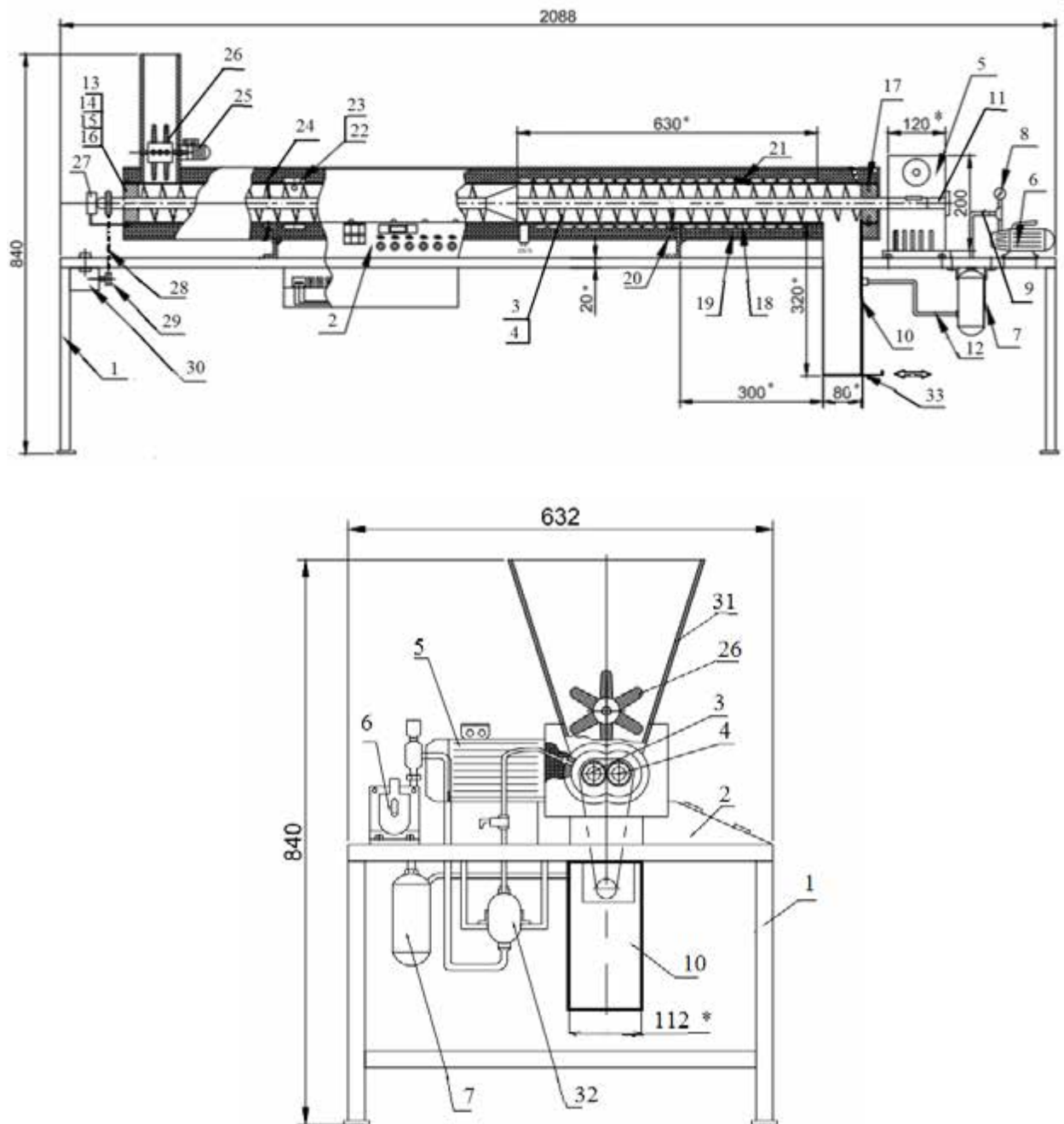


Рис.4.1. Конструкція двошнекового електромеханічного гідролізера

Двошнековий електромеханічний гідролізер працює наступним чином. Неподрібнена пухо-пір'яна сировина з вихідною вологістю 60-80 % безперервно подається до завантажувального пристрою 31, який має власний електропривод 25 з можливістю регулювання частоти обертання завантажувального барабана 26 спеціальної конструкції для умов подавання пухо-пір'яної сировини.

Далі сировину подають у робочу частину шнекової установки, в корпусі 24 якої розташовані поздовжньо з'єднані шнеки 3,4. Схема управління

електроприводом шнеків представлена на рис.4.2. В одній з модифікацій можлива установка коаксіально корпусу шнеків циліндричних індукторів обертового магнітного поля. При підключенні до джерела змінного струму циліндричні індуктори обертового магнітного збуджують вихрові струми у феромагнітних частинах корпусу шнеків 24, за рахунок яких він нагрівається.

В ущільнюючій порожнині робочої частини шнекової установки здійснюють ущільнення пухо-пір'яної сировини в 8-10 разів, нагрів при тиску 0,5-5,0 МПа до температури 60 °С, вплив градієнтного магнітного поля частотою 1-50 Гц з індукцією до 0,025 Т для гальмування процесу випаровування вологи.

Одночасно в ущільнюючій порожнині робочої частини шнекової установки здійснюють деаерацію пухо-пір'яної сировини за допомогою камери деаерації з ресівером 32 і з двома постійними магнітами 22,23, що створюють високу магнітну напруженість для всмоктування парамагнітного кисню, Таким чином, в ущільнюючій порожнині робочої зони шнекової установки максимально прибираються порожнечі з пухо-пір'яної суміші, в якій можливе перетворення води на пару і надалі, за рахунок видалення кисню, виключаються втрати якості одержуваного продукту внаслідок окислення. Відведення газів здійснюється через виходи камери деаерації, які з'єднані з пристроєм вакуумування і відведення газоповітряної суміші .

В кінці ущільнюючої порожнини робочої частини шнекової установки за допомогою конусів відбувається подальше ущільнення сировини до утворення пробки між корпусом та конусами при тиску від 1 МПа до 20 МПа. Висока міцність ущільнення сировини, гарантує надійний захист персоналу від випадкового викиду із зони гідролізу.

Після переходу ущільненої сировини в реакційну порожнину робочої частини шнекової установки здійснюють вплив на сировину градієнтного магнітного поля частотою 1-50 Гц з індукцією 0,065 Т і нагрів до температури 180-260 °С При цьому пухо-пір'яну сировину розпушують зменшеною в діаметрі частиною витків шнеків 3,4, перемішують і подрібнюють до отримання подрібненої маси, схожої на тісто з включеннями окремих волокон.

Обігрівальний пристрій 18 виконано у вигляді індуктора з жаростійкого, нагрівального кабелю з магнезійною ізоляцією. Металевий корпус 24 є одночасно приймачем енергії магнітного поля, генератором теплоти і служить несучою конструкцією. Змінний магнітний потік, створюваний індуктором, наводить в корпусі 24 вихрові струми, які додатково нагрівають його. В індукторі за рахунок електричних втрат виділяється 80-85 % всієї теплової енергії, у корпусі за рахунок вихрових струмів – 15-20 %. Це формує інтенсивний тепловий потік в бік сировини, що обробляється в реакційній порожнині шнекової установки. Індуктор виготовляють в однофазному або трифазному виконанні і, залежно від технологічних вимог, він може бути підключений на знижену або мережеву напругу. Для захисту від зовнішнього поля індуктора використовують електромагнітний екран у вигляді суцільного кожуха з листового матеріалу з малим питомим опором; втрати в такому екрані невеликі.

Виконуються операції транспортування, змішування, тонкого подрібнення і водного гідролізу кератину та короткочасного високотемпературного гідролізу перо-пухової сировини у тонкому шарі з впливом магнітного поля.

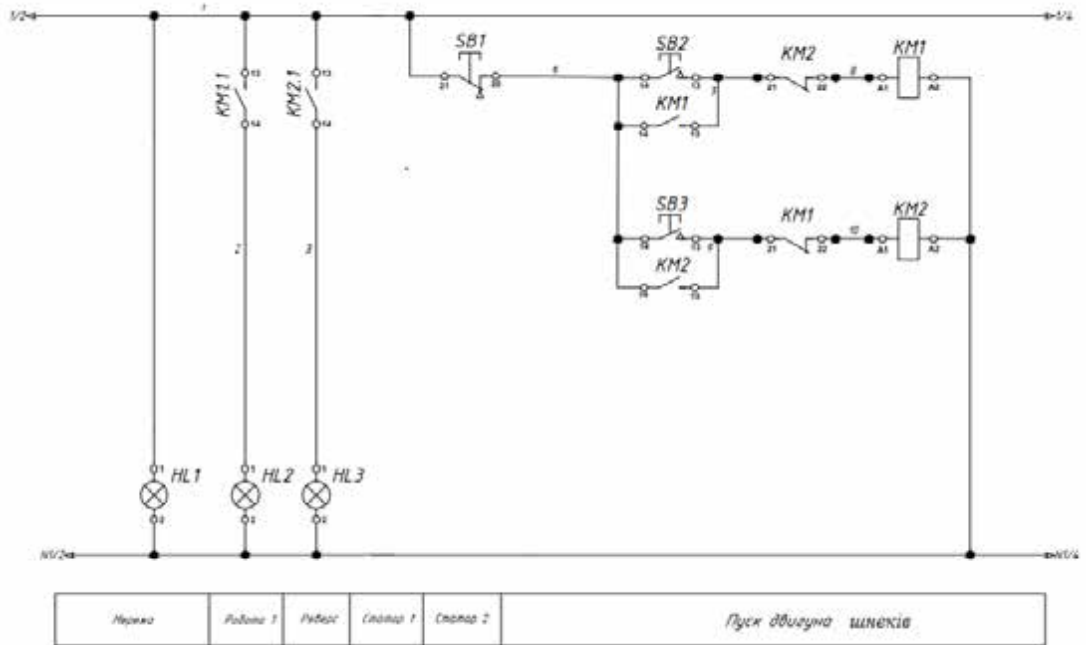
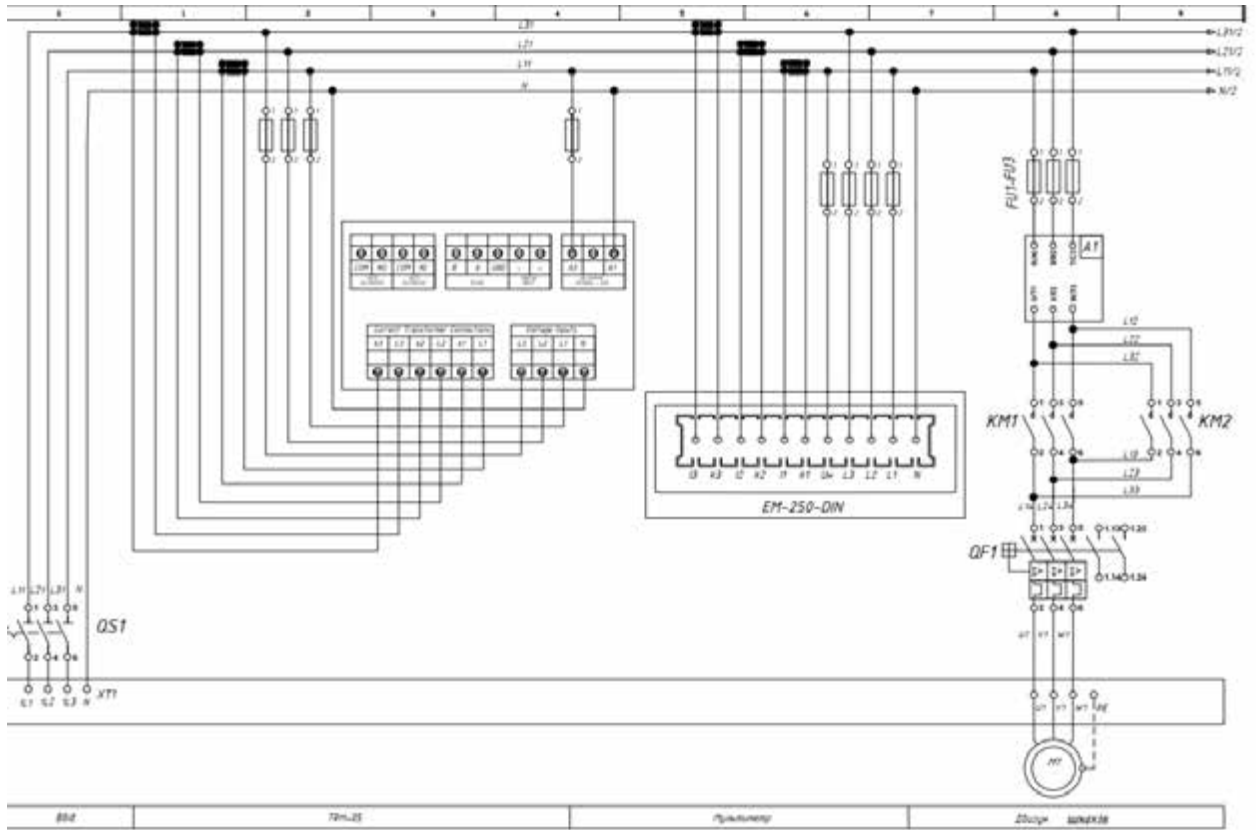


Рис.4.2. Схема управління електроприводом шнеків і підключення приладів реєстрації поточних значень електричних величин і індикації

Схема управління температурним режимом, який створює індуктор обігрівального пристрою, представлена на рис.4.3. Для максимального збереження амінокислот і якості жиру тривалість високотемпературної обробки в шнековій установці встановлена не вище 110 секунд.

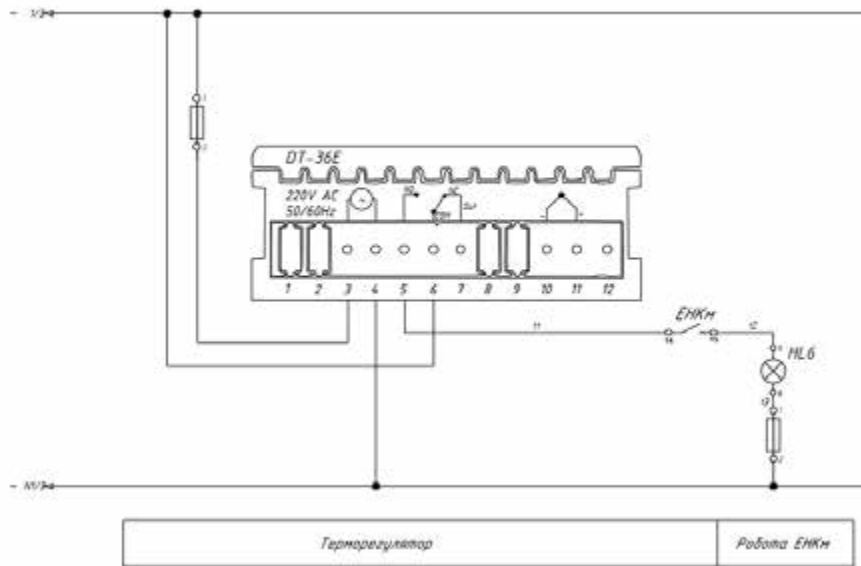


Рис.4.3. Схема управління температурним режимом, який створює індуктор обігрівального пристрою

На виході шнеків розміщено технологічну герметичну ємність 10 для прийому обробленої сировини, де після закриття вузла вивантажування готового продукту (шибер 33) і часткового заповнення ємності 10, сировину піддають обробці вакуумними імпульсами шляхом швидкого з'єднання за допомогою швидкодіючого клапану з ресивером 7, в якому попередньо був створений вакуум вакуумним насосом 6. Тривалість одноразового імпульсу в межах від 1 до 3 секунд, а також інтервал часу, через який діють імпульси в межах 10-60 с, регулюються електронним реле часу. Вакуумні імпульси діють не лише на сировину розміщену безпосередньо в герметичній ємності, але й на частину сировини, що знаходиться в робочій зоні шнеків. На рис. 4.4 і 4.5 відповідно представлені схема управління пневматичною системою вакуумування та схема електронного реле часу.

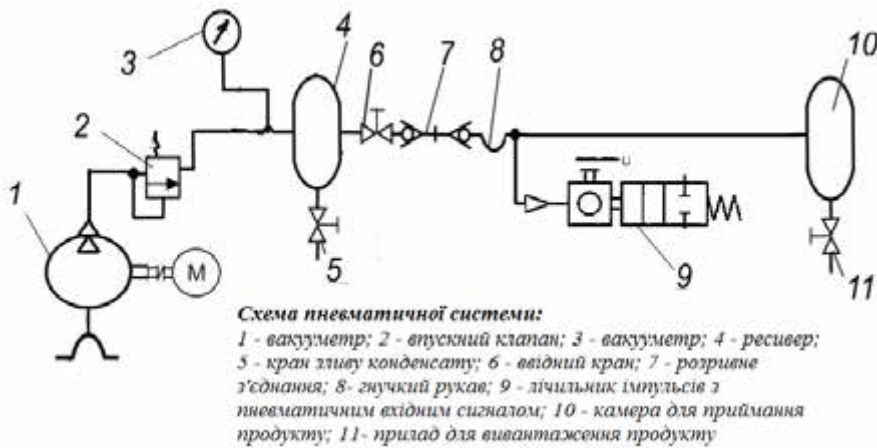


Рис.4.4. Схема пневматичної системи

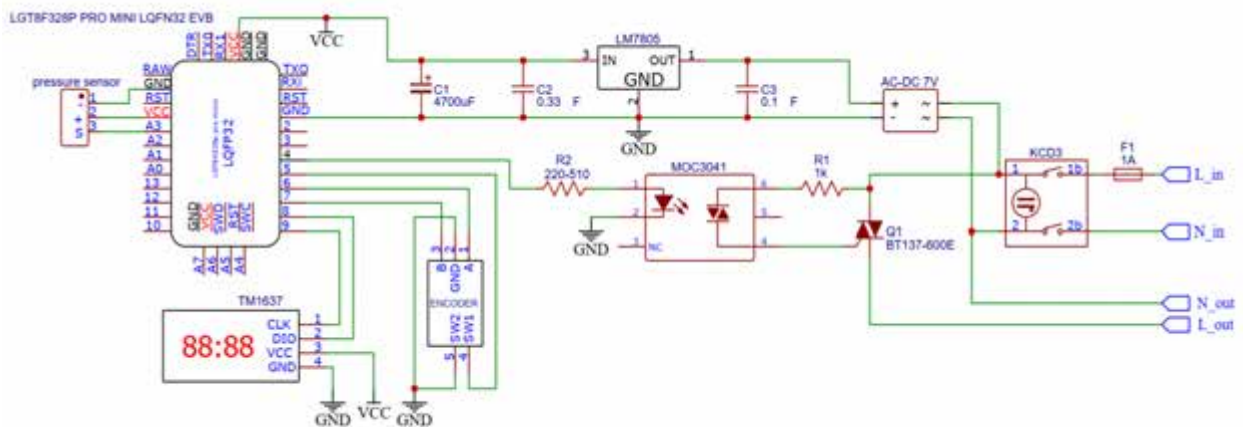


Рис.4.4. Схема електронного реле часу

За рахунок вакуумних імпульсів здійснюється видалення надлишку вологи з сировини до значення 8-12 %. Під впливом вакууму на півфабрикат готового продукту, з нього видаляється вільна та молекулярно зв'язана волога внаслідок закипання та вибуху бульбашок вологи в структурі матеріалу. При цьому додатково відкриваються пори, відбувається руйнування структури та більш тонке подрібнення. По завершенню процесу обробки отримують розсипчасту, дрібно помелену фракцію яку можна використовувати як білкову добавку для годівлі тварин та птиці без додаткового осушування.


4.2. Методика випробувань експериментального зразка двошнекового електромеханічного гідролізера

Метою випробувань є перевірка конструктивно- технологічних параметрів модифікацій експериментального зразка електромеханічного гідролізера для переробки кератинової сировини, відповідності до норм Правил улаштування електроустановок, Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів. Перелік параметрів і характеристик і їх нормованих значень представлено в табл.4.1.

Таблиця4.1. Технічні характеристики

Найменування параметрів і характеристик	Нормоване значення	Примітка
<i>Електромагнітні параметри і характеристики</i>		
Діапазон регулювання напруги і частоти живлення гідролізера	3/PE 400/480 V (320 V...528 V) 50/60 Гц (48 Гц...62 Гц)	При використанні низьковольтного перетворювача частоти
Рівень магнітної індукції, створеної постійними магнітами, для всмоктування парамагнітного кисню в камері деаерації	Магнітна індукція 0,025Т	Для варіанта двошнекового електромеханічного гідролізера
Рівень магнітної індукції в реакційній порожнині робочої частини гідролізера	Градiєнтне магнітне поле частотою 1-50 Гц з індукцією до 0,065Т	
Значення опору обмоток статора постійному струму	Значення опорів різних фаз обмотки не повинні відрізнятися один від одного або від попередніх вимірювань, а також від даних підприємства-виробника більше ніж на 2 %.	Вимірювання проводять в холодному стані машини
Значення напруги спрацювання та кількість операцій під час випробувань контакторів, магнітних пускачів і автоматичних вимикачів	Значення напруги на шинах оперативного струму - 0,9 (0,85) Уном Кількість операцій увімкнення - 5	
<i>Теплові параметри</i>		
Температура в ущільнюючій порожнині	Середня температура 60°C	

робочої частини гідролізера		
Температура в реакційній порожнині робочої частини гідролізера	Температура 180-260°C	В залежності від властивостей сировини
Температура зовнішнього корпусу гідролізера	Не вище 50°C	
Температура зовнішнього корпусу мотор-редуктора,	Менше 60°C	
<i>Гідродинамічні параметри</i>		
Тиск в ущільнюючій порожнині робочої частини гідролізера	Тиск 0,5-5,0 МПа при змінах швидкості подавання сировини	
Тиск в зоні ущільнюючих конусів гідролізера	Тиск від 1 МПа до 20 МПа.	В залежності від властивостей сировини
Тиск в реакційній порожнині робочої частини гідролізера	Тиск від 1,0 МПа до 5,0 МПа	В залежності від властивостей сировини
Перевірка рівня вакууму в ресивері для камери деаерації	Не менше 0,3 Па	
Перевірка рівня вакууму в ресивері для камери готового продукту	Не менше 0,3 Па	
<i>Енергетичні параметри і показники ефективності</i>		
Напруга живлення	380 В	
Споживана потужність	Двошнекового електромеханічного гідролізера – не вище 4,2 кВт.	
Коефіцієнт потужності	Не нижче 0,77	
Продуктивність по готовому продукту	Двошнекового електромеханічного гідролізера – не нижче 50 кг/год	
Енергоємність процесу (відношення споживаної потужності до продуктивності).	Двошнекового електромеханічного гідролізера – не вище 125 кВт/т	
Попередня перевірка здатності виробництва продукту	Борошно повинно мати розсипчасту, дрібно помелену фракцію з вологістю 8-12 %	
<i>Ергономічні вимоги, показники безпеки обладнання</i>		
Опір ізоляції електродвигунів будь-якої потужності, на напругу до 1кВ	Абсолютне значення опору ізоляції не менше ніж 0,5 МОм за температури ізоляції від 10°C до 30°C. Коефіцієнт абсорбції не нормується	

Опір ізоляції електровиробів та апарати на напругу понад 100 до 380 В	Значення опору ізоляції повинно відповідати даним, наведеним у паспорті або ТУ на конкретний вид виробу, але не менше ніж 0,5	
Опір ізоляції стрічкового електричного або кільцевого нагрівача	Не менше ніж 0,5 МОм	Вимірювання здійснювати у нагрітому стані
Наявність і опір заземлення	З'єднання захисного затискача електрообладнання з РЕ-провідником електроустановки. Наявність захисного затискача, знака  або літери «РЕ» або жовто-зелених смуг. У мережах з ізольованою нейтраллю при напрузі електроустановки до 1000 В опір заземлювача повинен становити до 4 Ом.	
Значення вібрації підшипників шнека та електродвигуна мотор-редуктора	Допустима амплітуда вібрації підшипників: електродвигуна мотор-редуктора - 60 мкм; шнека гідролізера - 95 мкм	
Перевірка наявності індикації, дисплеїв, приладів, що відображають поточний стан електричних, пневматичних, теплових і електромеханічних ділянок гідролізера	Наявність	
Частини електродвигунів і обертові частини, які з'єднують електродвигуни з механізмами (муфти, шків, ланцюгові передачі), повинні мати захисні огороження від випадкових дотиків.	Наявність (пункт 5.3.9 ПУЕ)	

Перевірка електромагнітних параметрів і характеристик. Схема підключення перетворювача частоти для вимірів напруги, струмів і частоти показана на рис.4.5.

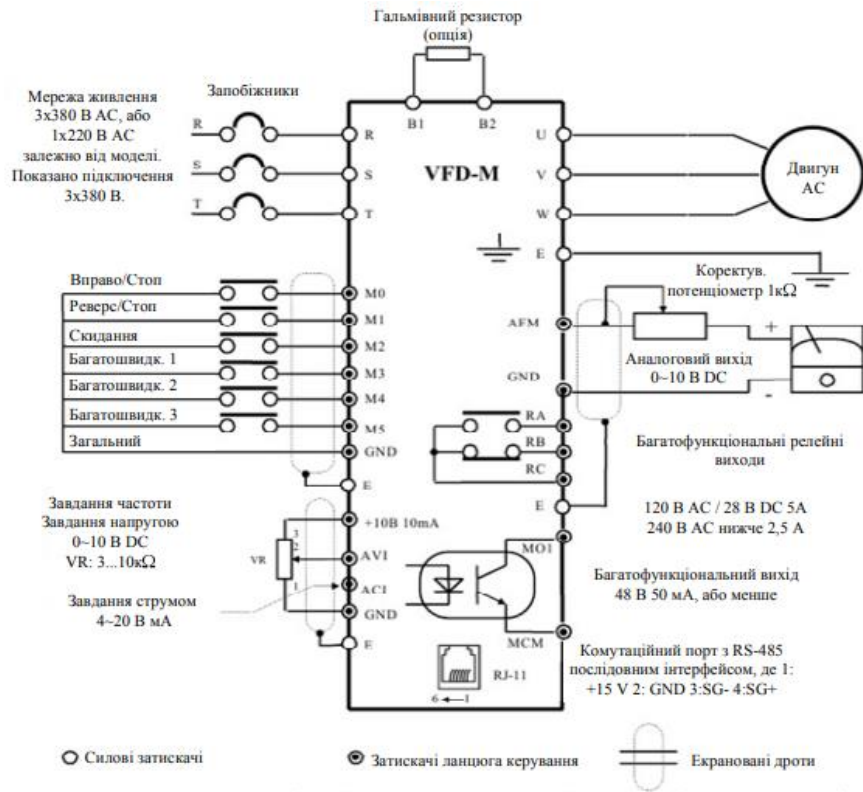


Рис.4.5.Схема підключення перетворювача частоти Delta серії VFD-M
Схема можливої комплектації ПЧ представлена на рис. 4.6.

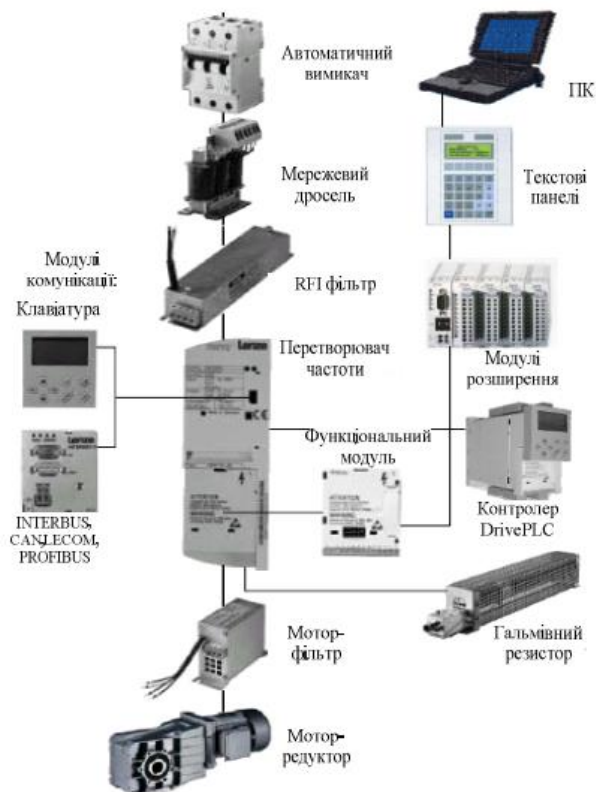


Рис.4.6. Схема комплектації ПЧ

Рівень індукції і частоти магнітного поля в ущільнюючій порожнині робочої частини гідролізера. Виміри індукції і частоти магнітного поля в ущільнюючій порожнині робочої частини здійснюються при знятому зовнішньому корпусі з теплоізоляцією за допомогою приладів, які показані на рис. 4.7 :

- Tenmars TM-197 Magnetic Field Meter, призначений для вимірювання електромагнітних полів наднизької частоти від 30 Гц до 300 Гц. одиницями вимірювання магнітного поля є Тесла (Тл) або Гаус (Гс);
- Tenmars TM-190 Multi Field EMF Meter, компактний пристрій для вимірювання електромагнітного, електричного полів та потужність радіочастот. Вимірює високочастотні електромагнітні поля в діапазоні частот від 50 МГц до 3,5 ГГц і низькочастотні електричні та магнітні поля у частоті 50-60 Гц ;
- Tunkia TM 51100 – багатофункціональний прилад для вимірювання магнітного поля до 2400 мТл.



Рис. 4.7. Прилади для виміру індукції і частоти магнітного поля в ущільнюючій порожнині робочої частини гідролізера

Рівень магнітної індукції, створеної постійними магнітами, для всмоктування парамагнітного кисню в камері деаерації. Вимірювання постійного магнітного поля здійснюється за допомогою портативного цифрового гаусметр/тесламетра Tunkia TD8620-5 з давачем Холла в отворі, в який в подальшому

встановлюється шланг від ресивера для всмоктування парамагнітного кисню в камері деаерації (рис.4.8). Реєструється магнітне поле, яке створене двома постійними магнітами, що встановлені безпосередньо на поверхню корпусу шнеків.



Рис.4.8. Вимірювання магнітної індукції

Значення опору обмоток статора постійному струму. Для статорів асинхронних двигунів мотор-редукторів, а також статорів, що забезпечують створення обертового магнітного поля в робочих частинах одношнекового електромеханічного гідролізера, вимірювання проводять в холодному стані машини. Перевірка здійснюється за допомогою мікроомметра MMR-650UA з роздільною здатністю 0,1 мкОм та струмом до 10А (рис.4.9).



Рис.4.9. Прилад для вимірювання опору обмоток статора

Значення напруги спрацювання та кількість операцій під час випробувань контакторів, магнітних пускачів і автоматичних вимикачів. Автоматичний вимикач, контактор і магнітний пускач повинні безперебійно вмикатись, вимикатись і надійно утримуватись у ввімкненому положенні при напрузі утримання, заданій заводом-виготовлювачем. Перевірка автоматичних вимикачів проводиться за допомогою пристрою прогрузки автоматичних вимикачів УПА-6М, УПА-10 або навантажувального трансформатора з РНО.



Рис.4.10.Пристрій перевірки автоматичних вимикачів УПА-10

Розчіплювачі (теплові, електромагнітні, напівпровідникові тощо) мають вимикати автоматичний вимикач за значеннями виміряного параметра (сила струму, значення напруги, час), які знаходяться в межах, заданих підприємством-виробником.

Контроль теплових параметрів. Температура в ущільнюючій і в реакційній порожнинах робочої частини гідролізера вимірюється і регулюється за заданим рівнем за допомогою цифрового термостата TENSE DT-36EM (рис. 4.11).



Рис.4.11.Цифровий термостат TENSE DT-36EM

Схема підключення цифрового термостата була представлена на рис.4.11.

Цифровий термостат містить реле контролю температури з мікропроцесорним керуванням, призначене для підтримання заданого значення температури середовища, діапазон вимірювання 0-600 °С, напруга живлення цифрового термостата 220 В, тип термодавача – термопара J типу. Термопари шляхом різьбового з'єднання розміщуються безпосередньо у товщі корпусу шнека гідролізера, як показано на рис.4.12



Рис. 4.12 Монтаж термопари в корпусі шнека

Температура зовнішнього корпусу гідролізера та корпусу мотор-редуктора контролюється періодично в процесі роботи електромеханічного гідролізера за допомогою пірометра (безконтактний термометр) BENETECH GM533A (рис.10.), діапазон вимірювання -50-530 °С, показник візування 12:1, коефіцієнт теплового випромінювання 0,1-1, спектр 5-14 мкм.

Контроль гідродинамічних параметрів. Тиск в ущільнюючій порожнині робочої частини гідролізера вимірюється за допомогою манометра HONGSEN HS-466NAH, який шляхом різьбового з'єднання у товщі корпусу шнека гідролізера з'єднується з порожниною робочої частини (рис.4.13).



Рис.4.13. Монтаж манометра та в ущільнюючій порожнині корпуса гідролізера
Тиск в зоні ущільнюючих конусів та тиск в реакційній високотемпературній порожнині робочої частини гідролізера вимірюється високотемпературними діафрагмовими манометрами моделі М230, 16 МРа. Монтаж манометрів показано на рис.4.14.



Рис.4.14 Розташування діафрагмових манометрів при монтажі в реакційній високотемпературній робочій частині гідролізера

На цьому ж рисунку показано місце приєднання шлангу від ресивера для всмоктування парамагнітного кисню в камері деаерації. Перевірка рівня вакууму

в ресивері для камери деаерації та в ресивері для камери готового продукту здійснюється за допомогою вакуумметра $-100...0$ кПа корпус 63мм (рис.4.13, верхня частина).

Визначення енергетичних параметрів і показників ефективності Поточний контроль напруги живлення, струмів, споживаної потужності, коефіцієнта потужності здійснюється за допомогою аналізатора мережі TPM-05 (рис.4.15).



Рис.4.15. Аналізатор мережі TPM-05

Аналізатор мережі TPM-05 має спроможність аналізувати 55 гармонік по струму і напрузі. показує активну потужність по кожній фазі окремо та в сумі ($P_1, P_2, P_3, P_{\Sigma}$), показує реактивну потужність по кожній фазі окремо та в сумі ($Q_1, Q_2, Q_3, Q_{\Sigma}$), показує імпорт та експорт електроенергії (кВтч), показує ємнісну та індуктивну складові реактивної енергії (Σ кВАрч) . Можливий запис подій, годинник реального часу, діапазон вимірювання напруги 0-600кВ, діапазон вимірювання струму 1мА-27000А.

Продуктивність по готовому продукту визначається шляхом вимірювання маси порцій продукту, який виходить за певний час, на вагах лабораторних ТВЕ 6 – 0,1 – а з точністю 0,1 г і розрахунок співвідношення маса/ час. Енергоємність процесу визначається як співвідношення споживаної потужності до продуктивності.

Ергономічні вимоги, показники безпеки обладнання. Вимірювання опору ізоляції обмоток електродвигунів, електровиробів та апаратів на напругу понад 100 до 380 В, ізоляції стрічкового електричного або кільцевого нагрівача здійснюється за допомогою мегаомметра UNI-T UT501A (рис.4.16)



Рис.4.16. Мегаомметр UNI-T UT501A

Перевірка контуру заземлення включає кілька етапів. Спочатку необхідно виміряти всю систему заземлення, щоб переконатися в правильному підключенні і відсутності пошкоджень. Потім слід виміряти опір заземлення, для чого можна використовувати тестер заземлення Uni-T UT522 (рис.4.17).



Рис.4.17.Тестер заземлення Uni-T UT522

Визначення допустимого опору заземлення здійснюється відповідно до вимог Правил устрою електроустановок (ПУЕ). Загалом, допустиме значення не повинно перевищувати 4 Ом. Якщо опір заземлення перевищує встановлену межу, необхідно прийняти заходи для усунення цієї проблеми.

Значення вібрації підшипників шнека та електродвигуна мотор-редуктора. Використовується віброметр WALCOM HT-1201 (рис.4.18), технічні характеристики якого представлені нижче в таблиці.



Рис.4.18.Віброметр WALCOM HT-1201

• Технічні характеристики віброметра WALCOM HT-1201

<u>Датчик</u>	<u>п'єзоелектричний акселерометр</u>
<u>Діапазон вимірювання прискорення</u>	0.1 ~ 199.9 м/с ² (пікове)
<u>Діапазон вимірювання швидкості</u>	0.1 ~ 199.9 мм/с (середньоквадратичне)
<u>Діапазон вимірювання амплітуди</u>	0.001 ~ 1.999 мм
<u>Похибка</u>	±5 %
<u>Діапазон вимірювання частоти прискорення</u>	15 Гц ~ 1 КГц (Lo), 1 КГц ~ 10 КГц (Hi)
<u>Діапазон вимірювання частоти швидкості</u>	15 Гц ~1 КГц (Lo)
<u>Діапазон частоти вимірювання амплітуди</u>	15 Гц ~ 1 КГц (Lo)

4.3.Висновки до розділу 4

Розроблені конструкція та принципові схеми експериментального зразка двошнекового електромеханічного гідролізера, в якому виконуються операції транспортування, змішування, тонкого подрібнення і водного гідролізу кератину та короткочасного високотемпературного гідролізу перо-пухової сировини у тонкому шарі з впливом магнітного поля.

Завдяки деаерації пухо-пір'яної сировини, яку здійснюють за допомогою камери деаерації з ресівером і двома постійними магнітами, що створюють

високу магнітну напруженість для всмоктування парамагнітного кисню, в ущільнюючій порожнині робочої зони шнекової установки максимально прибираються порожнечі з пухо-пир'яної суміші, в якій можливе перетворення води на пару і надалі, за рахунок видалення кисню, виключаються втрати якості одержуваного продукту внаслідок окислення.

Розроблена методика випробувань експериментального зразка двошнекового електромеханічного гідролізера, метою яких є перевірка конструктивно-технологічних параметрів модифікацій експериментального зразка електромеханічного гідролізера для переробки кератинової сировини, відповідності до норм Правил улаштування електроустановок, Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів.

РОЗДІЛ 5. ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В ТЕХНОЛОГІЯХ ПЕРЕРОБКИ КЕРАТИНОВМІСНОЇ СИРОВИНИ

5.1. Загальні вимоги

Підприємства з виробництва пластмасових виробів повинні мати санітарно-захисну зону, встановлену відповідно до вимог Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів.

Небезпечні зони та території промислових майданчиків, транспортних шляхів, у виробничих приміщеннях і на робочих місцях повинні бути позначені знаками безпеки відповідно до вимог Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників.

Улаштування, утримання, експлуатацію, обслуговування і ремонт електричних установок та електричних мереж необхідно здійснювати відповідно до вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок, Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та вимог Технічного регламенту безпеки машин.

Роботодавець повинен забезпечити працівників під час виконання робіт, пов'язаних з обслуговуванням електроустановок, засобами електрозахисту від ураження електричним струмом та від впливу електричного поля відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.01-98

Роботодавець зобов'язаний забезпечити працівників ЗІЗ відповідно до вимог Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

Працівники, на робочому місці яких еквівалентний рівень шуму перевищує допустимий рівень, повинні бути забезпечені протишумовими вкладишами, протишумовими навушниками, протишумовими шоломами, які відповідають вимогам Технічного регламенту засобів індивідуального захисту.

Працівники, на робочих місцях яких концентрація пилу перевищує або може перевищувати встановлені ГДК, повинні бути забезпечені ЗІЗ органів

дихання відповідно до вимог Правил вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання.

5.2. Вимоги охорони праці до технологічного процесу переробки кератиновмісної сировини

Фізичні та хімічні фактори небезпек та ризиків, які характерні для обладнання лінії для виробництва борошна з кератиновмісної сировини, такі:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхні обладнання і матеріалів ;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації на робочому місці
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- підвищений рівень інфрачервоного випромінювання;
- токсичні речовини;
- подразнюючі речовини.

Окремі стадії технологічного процесу, які не можуть виконуватися в герметичному обладнанні (підготування матеріалів, завантаження сировини та вивантаження продукції), повинні бути механізованими або виконуватися з використанням механічних пристроїв, що унеможливають безпосередній контакт працівників зі шкідливими речовинами.

У виробничих приміщеннях повинна бути встановлена система автоматичного включення аварійної вентиляції, заблокована з газоаналізаторами.

У разі виникнення аварійної ситуації автоматизоване управління технологічними процесами та системою протиаварійного захисту повинно забезпечувати відключення всієї лінії.

Крім системи автоматичного вмикання аварійної вентиляції, повинна бути передбачена можливість ручного вмикання аварійної вентиляції за допомогою пускових пристроїв.

Зберігати та транспортувати сировину, готову продукцію та відходи виробництва необхідно у виробничій тарі. Порошкоподібні матеріали необхідно зберігати в бункерах або закритій тарі. Транспортування порошкоподібних матеріалів необхідно здійснювати способом, що унеможливує їх розпилення.

Сушильні приміщення (камери, шафи) для вихідних матеріалів, сировини, напівфабрикатів і готових виробів для видалення залишкової вологи повинні бути обладнані виробничою автоматикою, яка вимикає нагрівальні прилади в разі підвищення температури вище допустимої.

Обладнання, машини, устаткування та системи керування ними повинні відповідати вимогам Технічного регламенту безпеки машин.

Вимоги до безпеки, маркування та введення в обіг обладнання, що працює під тиском, повинні відповідати вимогам Технічного регламенту безпеки обладнання, що працює під тиском, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 19 січня 2011 року № 35.

Скидання матеріалу під час звільнення обладнання (термопластавтоматів, екструдерів тощо) від гарячих полімерних матеріалів (під час аварії, виходу браку, при зупинці машин та інших несправностях) необхідно здійснювати в спеціально призначені для цього пересувні ємності з кришками.

Для зменшення виділення пилу операції з транспортування та завантаження матеріалів до бункерів повинні бути механізовані. Бункери повинні бути забезпечені за необхідності пристосуваннями проти зависання та заклинювання в них матеріалів (перетрушувачами, вібраторами, аераторами), якщо форма і конструкція бункерів (наприклад, наявність в них однієї вертикальної стінки) не забезпечує повного і легкого їх звільнення.

Пускові пристрої основних машин, механізмів і апаратів, механізми для підготування сировини та відходів (дробарки, бігуни, млини) повинні бути заблоковані із запобіжними огорожувальними конструкціями.

На приводах комунікаційних апаратів повинно бути чітко зазначено положення "Включено" та "Відключено" відповідно до схеми розташування та взаємозв'язку технологічного обладнання і трубопроводів та вимог Технічного регламенту безпеки машин.

Перед запуском гідролізера необхідно проводити чистку циліндра та шнека, фільтрів-решіток. Для очищення шнека, циліндра, поверхонь деталей слід використовувати тільки латунні або мідні скребки.

Запуск гідролізера необхідно здійснювати після нагрівання до температури, визначеної технологічним процесом до процесу гідролізу.

Гідролізер повинен мати капсуляцію з вмонтованим місцевим відсмоктувачем для уловлювання тепла, газів та пари.

Гідролізер повинен бути забезпечений надійним захисним заземленням та/або зануленням, надійним огороженням рухомих частин обладнання, пристроями для закривання завантажувальних бункерів.

Працівники, які обслуговують дробарки, повинні використовувати ЗІЗ відповідно до вимог Технічного регламенту засобів індивідуального захисту.

5.3. Вимоги безпеки до організації робочих місць

Пульти керування обладнанням з підвищеними рівнями теплового випромінювання повинні влаштовуватися в ізольованих приміщеннях або окремих кімнатах, обладнаних пристроями, що забезпечують працівникам на робочих місцях санітарно-гігієнічні умови праці (звукоізоляцію, температуру та вологість повітря).

Рівень вібрації на робочих місцях не повинен перевищувати норм, установлених Державними санітарними нормами виробничої загальної та локальної вібрації.

Виробничі та допоміжні приміщення повинні бути обладнані системами вентиляції. Улаштування, експлуатація, обслуговування, ремонт, налагодження та проведення інструментальної перевірки ефективності роботи систем

вентиляції повинні здійснюватися відповідно до вимог Правил з безпечної експлуатації систем вентиляції у хімічних виробництвах.

Заборонено об'єднувати місцеві відсмоктувачі від різного устаткування в одну систему, оскільки суміш парів різних речовин може призвести до утворення небезпечних речовин. Для очищення вибухонебезпечної пилоповітряної суміші необхідно використовувати пиловловлювачі або фільтри.

Гарячій прес та інше обладнання, що виділяє тепло, повинно бути обладнане екранами, щоб інтенсивність теплового заручення на робочих місцях не перевищувало 100 Вт/м².

Показники мікроклімату на робочих місцях повинні відповідати санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень, затверджених Міністерством охорони здоров'я України. Циклони та бункери систем збору органічного пилу повинні розташовуватися поза будівлями. Канали для конвеєрів та комунікацій, повинні бути розташовані нижче рівня підлоги, закриті щитами на шарнірах на рівні з підлогою. Пряжки в зоні роботи підймальних столів, етажерок, пресу повинні бути огорожені поручнями висотою не менше 1,0 м та бортами висотою 0,1 м.

Сировина, яка має металеві та мінеральні включення, повинна пройти очищення на сепараторах. Температура сировини, півфабрикатів та брикетів, з якими стикаються працюючі, не повинна перевищувати 40°C. Зберігання сировини на відкритих майданчиках повинно відповідати вимогам протипожежних норм проектування складів.

5.4. Вимоги безпеки для працівника, що обслуговує електромеханічний гідролізер

До самостійного обслуговування обладнання лінії екструдуювання допускаються особи, не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, навчання

професії в навчальному комбінаті, які пройшли стажування на робочому місці не менше 12–15 змін під керівництвом особи, призначеної наказом, що має необхідну підготовку і стаж роботи не менше 3-х років.

Працівник повинен дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку підприємства, виключити вживання алкогольних, наркотичних і токсичних засобів до і під час роботи.

При обслуговуванні лини гідролізу на працівника можуть впливати небезпечні і шкідливі виробничі фактори: обертові деталі; електричний струм; шум і вібрація.

Для забезпечення пожежо- і вибухобезпеки працівник здійснює контроль за режимом роботи обладнання (температура, тиск), своєчасно здійснює поповнення мастила підшипників, очистку магнітного захисту, контроль за роботою засобів автоматизації та блокування.

У випадках травмування працівник чи очевидець повинен негайно повідомити про це начальника зміни або начальника цеху, який зобов'язаний організувати допомогу. У разі необхідності потерпілому повинна бути надана лікарська допомога.

У разі виявлення несправностей обладнання, порушень технологічного процесу працівник повідомляє про це начальника зміни, начальника цеху.

5.5.Висновки до розділу 5

У ньому розділі проаналізовано стан нормативної бази, що регулює питання охорони праці і безпеки життєдіяльності працівників підприємства, ергономічні вимоги до організації праці тощо.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Суттєвими недоліками існуючих способів і конструкцій переробки кератинової сировини є відсутність регулювання параметрів і продуктивності процесу гідролізу при зміні властивостей сировини.

Запропонована методика вибору технологічних параметрів електромеханічного гідролізера для переробки кератиновмісних відходів, в рамках якої здійснена молекулярна візуалізація та моделювання молекулярної динаміки курячого пір'я в програмних середовищах VMD, QwikMD та NAMD. Володіючи даними молекулярної структури курячого пір'я в форматі PDB здійснено моделювання молекулярної динаміки під впливом мінімальної температури – 180 °С, необхідної для гідролізу в двохшнековому електромеханічному гідролізері.

Визначена магнітна сприйнятливість амінокислот кератиновмісної сировини. Кератиновий матеріал з негативною магнітною сприйнятливістю відштовхується в напрямку від джерела магнітного поля, що створює додатковий молекулярний тиск на сировину і покращує процес гідротермального гідролізу. Для експериментального оцінювання впливу магнітного поля на кератиновмісну сировину застосовано метод аналізу, відомий як FTIR-аналіз або FTIR-спектроскопія, який використовується для ідентифікації органічних, полімерних матеріалів.

Проаналізовані технологічні параметри і режими переробки кератиновмісної сировини із застосуванням електромеханічного гідролізера.

На основі попереднього аналізу впливу технологічних факторів на процеси переробки кератиновмісних відходів запропоновано спосіб виробництва кормового білкового борошна.

Технологія дозволяє: зруйнувати структуру кератину (водневі та S-S зв'язки); провести частковий ферментативний гідроліз; запобігти вторинної агрегації білків; зберегти лабільні амінокислоти (лізин, метіонін, цистеїн); стерилізувати продукт; не погіршити якість жиру; перейти від багатогодинної (6-

12 годин) дискретної обробки при температурних режимах 130-140°C до обробки у безперервному процесі протягом 60-90 секунд при т. Оптимальні показники перового продукту в результаті гідротермічної обробки в зоні короткочасного інтенсивного нагрівання отримані при температурі нагріву 210°C, тиску 7,0- 8,0 МПа та тривалості обробки 115 секунд. Використовуючи макетний зразок шнекового електромеханічного гідролізера, на виготовлення 8500 мм³ (642 г) гідролізованого пир'яного борошна було затрачено 0,57 кВт· год.

Практичне значення одержаних результатів полягає в обґрунтуванні напрямів підвищення ефективності технологічного процесу, стійкості реакції гідролізу, поліпшенні якості білкової добавки і підвищення засвоюваності готового продукту, зниження енергетичних витрат. Шнековий електромеханічний гідролізер може розглядатись як джерело мультифізичного впливу на середовище при формуванні технологічних операцій переробки речовин і техногенних відходів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. E. Salminen, J. Rintala, “Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste – a review”, *Bioresource Technology*, Vol. 83(1), pp. 13-26, 2002. doi:10.1016/S0960-8524(01)00199-7
2. I. Davidson, “Diverse Uses of Feathers with Emphasis on Diagnosis of Avian Viral Infections and Vaccine Virus Monitoring”, *Brazilian Journal of Poultry Science*, Vol. 11(3), pp. 139-148, 2009. doi:10.1590/S1516-635X2009000300001
3. I. Sinkiewicz, A. Śliwińska, H. Staroszczyk, I. Kołodziejska, “Alternative Methods of Preparation of Soluble Keratin from Chicken Feathers”, *Waste and Biomass Valorization*, Vol. 8, pp. 1043–1048, 2017. doi:10.1007/s12649-016-9678-y
4. I. V. Korh, I. I. Murzha, V. G. Kebko, M. V. Zubets, B. I. Kobal, I. N. Zazulya, “Innovative technological line for the production of a combined high-protein blood-feather feed additive”, *Naukovo-tekhnichnyybyuleten IT NAAN*, Vol. 118, pp. 94-104, 2017.
5. Gonzalo, Milena, et al. "Pig bristles—an underestimated biomass resource." *Proceedings of the 62nd International Congress of Meat Science and Technology, Proc. Bangkok, Thailand*. 2016.
6. Coward-Kelly, G., Agbogbo, F.K., Holtzapple, M.T.: Lime treatment of keratinous materials for the generation of highly digestible animal feed: 2. Animal hair. *Bioresour. Technol.* 97, 1344–1352 (2006)
7. Nustorova, M., Braikova, D., Gousterova, A., Vasileva-Tonkova, E., Nedkov, P.: Chemical, microbiological and plant analysis of soil fertilized with alkaline hydrolysate of sheep’s wool waste. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 22(4), 383–390 (2006)
8. Łaba, Wojciech, et al. "Enzymatic degradation of pretreated pig bristles with crude keratinase of *Bacillus cereus* PCM 2849." *Waste and biomass valorization* 8 (2017): 527-537.
9. S. Sharma, A. Kumar, “Keratin as a Protein Biopolymer: Extraction from Waste Biomass and Applications”, Springer, 2019. doi:10.1007/978-3-030-02901-2

10. I. V. Korh, I. I. Murzha, V. G. Kebko, M. V. Zubets, B. I. Kobal, I. N. Zazulya, “Innovative technological line for the production of a combined high-protein blood-feather feed additive”, *Naukovo-tekhnichnyybyuleten IT NAAN*, Vol. 118, pp. 94-104, 2017

11. Спосіб виготовлення кормової білкової добавки з відходів сировини тваринного походження та пристрій для здійснення способу. Патент 61868, А23К1/10, А23J1/10, А23N17/00, В29С47/38, заявник і патентовласник ТОВ “ТЕХНОЦЕНТР ТЕХАГРО-РЕСУРС”. - № 2003065404, заявл. 10.06.2003, опубл. 17.11.2003, Бюл. №11.15.

12. Mykhaliuk, V. V., & Havryliak, V. V. (2019). Methods of keratin extraction from wool and hair and prospects of their application in biomedicine and bioengineering. *Біологічні студії/Studia Biologica*, 13(2), 117-130.

13. Havryliak, V., & Mykhaliuk, V. (2020). The comparative analysis of the methods for keratin extraction from sheep wool and human hair. *Biol. Tvarin*, 22, 9-14. DE NINNO, A.; CASTELLANO, A. Congiu. On the effect of weak magnetic field on solutions of glutamic acid: the function of water. In: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2011. p. 012025.

15. T. Tesfaye, B. Sithole, D. Ramjugernath, T. Mokhothu, “Valorisation of chicken feathers: Characterisation of thermal, mechanical and electrical properties”, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, Vol. 9, pp. 27-34, 2018. doi:10.1016/j.scp.2018.05.003

16. Posati, T., Giuri, D., Nocchetti, M., Sagnella, A., Gariboldi, M., Ferroni, C., & Aluigi, A. (2018). Keratin-hydroxycalcites hybrid films for drug delivery applications. *European Polymer Journal*, 105, 177-185.

17. Saha, S., Arshad, M., Zubair, M., & Ullah, A. (2019). Keratin as a Biopolymer. In *Keratin as a Protein Biopolymer* Springer, Cham., 163-185.

18. M. Babaei, I. C. Jones, K. Dayal, M. S. Mauter, “Computing the Diamagnetic Susceptibility and Diamagnetic Anisotropy of Membrane Proteins from Structural Subunits”, *Journal of Chemical Theory and Computation*, Vol. 13(6), pp. 2945-2953, 2017. doi:10.1021/acs.jctc.6b01251

19. Спосіб виробництва кормового білкового борошна з перо-пухової сировини. Патент 125774, А23К 10/26, заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. - № а202007099, заявл. 02.06.2022, опубл. 01.06.2022, Бюл. № 22.

20. Kakkar, P., Madhan, B., & Shanmugam, G. (2014). Extraction and characterization of keratin from bovine hoof: A potential material for biomedical applications. SpringerPlus, 3(1), 1-9.

21. Brandelli, Adriano, Luisa Sala, and Susana Juliano Kalil. "Microbial enzymes for bioconversion of poultry waste into added-value products." Food Research International 73 (2015): 3-12.

22. Борошно кормове з відходів перероблення птиці. Технічні умови, ДСТУ 8039:2015, січень 2017.

23. Електрична шнекова установка для виготовлення протеїнової кормової добавки з пухо-перової сировини. Патент 147388, МПК (2021.01), А23К 10/00, А23К 10/26 (2016.01), В03С 1/02 (2006.01), В03С 1/23 (2006.01), В03С 3/36 (2006.01), заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. - № u202007097; заявл. 05.11.2020; опубл. 05.05.2021, Бюл. № 18.

24. H. Abu-Rub, A. Iqbal, J. Guziński, "High Performance Control of AC Drives with MATLAB/Simulink Models", John Wiley & Sons, 2012

25. N. Zablodsky, R. Chuenko, V. Gritsyuk, S. Kovalchuk, O. Romanenko, "The Numerical Analysis of Electromechanical Characteristics of Twin-Screw Electromechanical Hydrolyzer", 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, 2021. doi:10.1109/acit52158.2021.9548392

26. M. Zablodskiy, V. Pliuhin, S. Kovalchuk, V. Tietieriev, "Indirect Field-Oriented Control of Twin-Screw Electromechanical Hydrolyzer", Electrical Engineering & Electromechanics, Vol. 1, pp. 3-11, 2022. doi:10.20998/2074-272X.2022.1.01

27. N. Zablodskiy, S. Kovalchuk, “The main aspects of the technology of processing keratin raw materials under the influence of a magnetic field”, 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 2020. doi:10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250153

28. M. Arshad, M. A. Khosa, T. Siddique, A. Ullah, “Modified biopolymers as sorbents for the removal of naphthenic acids from oil sands process affected water (OSPW)”, *Chemosphere*, Vol. 163, pp. 334-341, 2016. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.08.015

29. A. Nurdiawati, B. Nakhshiniev, I. Nuran Zaini, N. Saidov, F. Takahashi, K. Yoshikawa, “Characterization of potential liquid fertilizers obtained by hydrothermal treatment of chicken feathers”, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, Vol. 37(1), pp. 375-382, 2018. doi:10.1002/ep.12688

30. B. Wang, W. Yang, J. McKittrick, M. A. Meyers, “Keratin: Structure, mechanical properties, occurrence in biological organisms, and efforts at bioinspiration”, *Progress in Materials Science*, Vol. 76, pp. 229–318, 2016. doi:10.1016/j.pmatsci.2015.06.001

31. A. Chen, W. Donghui, C. S. J. Johnson, “Determination of the Binding Isotherm and Size of the Bovine Serum Albumin-Sodium Dodecyl Sulfate Complex by Diffusion-Ordered 2D NMR”, *The Journal of Physical Chemistry*, Vol. 99, pp. 828-834, 1995. doi:10.1021/j100002a054

32. Y. Ji, J. Chen, J. Lv, Z. Li, L. Xing, S. Ding, “Extraction of keratin with ionic liquids from poultry feather”, *Separation and Purification Technology*, Vol. 132, pp. 577-583, 2014. doi:10.1016/j.seppur.2014.05.049

33. I. H. Panasenko, P. I. Lokes, S. V. Aranchiy, “Recommendations from convert feather and downy raw material in protein food”, *Poltava*, 26 (in Ukrainian)

34. I. N. Zaini, S. Novianti, A. Nurdiawati, A. R. Irhamna, M. Aziz, K. Yoshikawa, “Investigation of the physical characteristics of washed hydrochar pellets made from empty fruit bunch”, *Fuel Processing Technology*, Vol. 160, pp. 109-120, 2017. doi:10.1016/j.fuproc.2017.02.020

35. M. M. Mazlan, R. A. Talib, N. F. Mail, F. S. Taip, N. L. Chin, R. Sulaiman, R. Shukri, M. Z. Mohd Nor, “Effects of extrusion variables on corn-mango peel extrudates properties, torque and moisture loss”, *International Journal of Food Properties*, Vol. 22, pp.54–70, 2019. doi:10.1080/10942912.2019.1568458
36. P. Singha, K. Muthukumarappan, “Effects of processing conditions on the system parameters during single screw extrusion of blend containing apple pomace”, *The Journal of Food Process Engineering*, Vol. 40(4), pp. 1-11, 2016. doi:10.1111/jfpe.12513
37. C. Feng, Z. Li, Z. Wang, B. Wang, Z. Wang, “Optimizing torque rheometry parameters for assessing the rheological characteristics and extrusion processability of wood plastic composites”, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, Vol. 32(1), pp. 123–140, 2019. doi:10.1177/0892705717744828
38. J. Vanoverschelde, V. Vanoverschelde, “Werkwijze voor het bereiden van een verteerbaar pluimen of haarmeel”, Belgium Patent BE1024444B1, Feb. 27, 2018
39. Vanoverschelde, V. Vanoverschelde, “Method for preparing digestible feather or hair meal”, European Patent Office Patent EP3262952A1, Jan. 3, 2018
40. Lubbert, A. Meents, E. Weckert, “Accurate rocking-curve measurements on protein crystals grown in a homogeneous magnetic field of 2.4 T”, *Acta Cryst*, Vol. 60, pp. 987-998, 2004
41. Zablodskiy M.M., Chuenko R.M., Kovalchuk S.I., Kruhliak H.V., Kovalchuk O.I. Internal capacitive compensation of the reactive power of the screw electromechanical converter. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2024, no. 3, pp. 11-21. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2024.3.02>
42. Zablodskiy, N., Kovalchuk, S., Gritsyuk, V., & Subramanian, P. (2023). Screw electromechanical hydrolyser for processing poultry by-products. *Machinery & Energetics*, 14(1), 36-45. doi: 10.31548/machinery/1.2023.36.
<https://technicalscience.com.ua/uk/journals/t-14-1-2023>
43. Mudryk, K., Hutsol, T., Zablodskiy, N., Sorokin, D., & Usenko, S. (2023). A study of electrothermomechanical converter for technological purposes with

nonlinear changes in the loading and cooling medium. *Machinery & Energetics*, 14(2), 9-22. doi: 10.31548/machinery/2.2023.09

<https://technicalscience.com.ua/uk/journals/t-14-2-2023>

44. Junge, S., Zablodskiy, N., Zaiets, N., Chuenko, R., & Kovalchuk, S. (2023). The screw-type electrothermomechanical converter as a source of multiphysical influence on the technological environment. *Machinery & Energetics*, 14(3), 34-46. <https://technicalscience.com.ua/uk/journals/t-14-3-2023>

45. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ : станом на 1 жовт. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

46. Директива 89/391/ЄЕС Про впровадження заходів, що сприяють поліпшенню безпеки та гігієни праці працівників на виробництві / Рада Європейських Співтовариств. Чинний з 22.10.2008.

47. НПАОП 0.00-7.14-17 Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками: Наказ Міністерства соціальної політики України від 28.12.2017 № 2072 / Міністерство соціальної політики України. Чинний від 2018-12-28.

48. НПАОП 01.0-1.02-18 Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві : Наказ Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 № 1240 / Міністерство соціальної політики України. Чинний від 2018-10-12.

49. Охорона праці в галузі та цивільний захист : навчальний посібник / В. М. Курепін, К. М. Горбунова, В. М. Курепін [та ін.]. Миколаїв : МНАУ, 2020. 266 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/8596>

50. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями: Наказ Міністерства соціальної політики України від 14.02.2018 № 207 / Міністерство соціальної політики України. Чинний від 2018-05-18

51. Іваненко В. С., Бризгалов М. В. Розробка та впровадження інструкцій з охорони праці на підприємствах аграрного профілю. Інформаційно-психологічна та техногенна безпека: історичні аспекти, особливості захисту суспільства та особистості : тези доповідей за результатами тематичного

«круглого столу», м. Миколаїв, 9 грудня 2022 р. Миколаїв :МНАУ, 2022.
С. 20-23. [URL:https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/120](https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/120)

52. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.