

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

ПОГОДЖЕНО
**Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження**

проф., д.т.н. КАПЛУН В.В.
(підпис)
« » 2026 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
**Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій**

доц., к.т.н. ОКУШКО О.В.
(підпис)
« » 2026 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА**

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Гарант освітньої програми

К. Т. Н., доц.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Троханяк В.І.

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

д. т. н., проф.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Заблудський М.М.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Сирота А. А.

КИЇВ – 2026

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри електротехніки,
електромеханіки та електротехнологій
канд. техн. наук, доц. _____ Окушко О.В.
“ _____ ” _____ 2025 року**

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Сироті Артуру Анатолійовичу

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Тема магістерської роботи: «Дослідження характеристик електромеханічного гідролізера»

затверджена наказом ректора НУБіП України від “ _____ № _____ «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-пир’яної сировини.
2. Дослідження електропривода з напівпровідниковим перетворювачем частоти завантажувального вузла подавання перо-пухової сировини у електромеханічний гідролізер.
3. Обґрунтування технологічних параметрів і конструктивно-технологічної схеми електромеханічного гідролізера.
4. Обґрунтування параметрів компонентів силової електричної та пневматичної систем 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 _____ Заблудський М.М.

Завдання прийняв до виконання _____ Сирота А.А.

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота вміщує вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел, що налічує 40 позицій, таблиці у кількості 2 штук. Повний обсяг роботи складає 57 сторінок.

Робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності виробництва кератиновмісних добрив і біоматеріалів шляхом удосконалення характеристик електромеханічного гідролізера. Удосконалено конструкцію двошнекового електромеханічного гідролізера і запропоновані технічні рішення щодо регульованого електроприводу завантажувального пристрою пухо-пір'яна сировини з вологістю до 80 %. За допомогою програмного забезпечення DIMASDrive проведено моделювання і отримані електромеханічні і температурні режимні характеристики промислового варіанта регульованого електроприводу завантажувального пристрою з використанням напівпровідникового перетворювача частоти з широтно-імпульсою модуляцією. За результатами моделювання в програмному середовищі Comsol Multiphysics отримано розподіли параметрів електромагнітного поля в поперечному перерізі окремого модуля та часову залежність електромагнітного моменту.

Розроблена методика і здійснено вибір приладового забезпечення досліджень експериментального зразка електромеханічного гідролізера. Розроблені заходи щодо охорони праці і техніки безпеки при експлуатації електромеханічного гідролізера.

Ключові слова: електромагнітне поле, високотемпературний гідроліз, експериментальний зразок двошнекового електромеханічного гідролізера, регульований електропривод, кератиновмісна сировина.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АГРЕГАТИВ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ПЕРО-ПУХОВОЇ СИРОВИНИ	10
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДВОШНЕКОВОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА	16
2.1. Удосконалення конструкції та апаратних рішень двошнекового електромеханічного гідролізера	16
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА	24
3.1 Дослідження електропривода з напівпровідниковим перетворювачем частоти завантажувального вузла електромеханічного гідролізера	24
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА ДВОШНЕКОВОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА	32
4.1. Методика випробувань експериментального зразка електромеханічного гідролізера	32
4.2. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції	43
РОЗДІЛ 5. ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІВ ТЕХНОЛОГІЯХ ПЕРЕРОБКИ КЕРАТИНОВІСНОЇ СИРОВИНИ	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56

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

ШЕМГ – шнековий електромеханічний гідролізер

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 призводять 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 кількома 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 гідролізної 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. Дослідження електропривода з напівпровідниковим перетворювачем частоти завантажувального вузла подавання перо-пухової сировини у електромеханічний гідролізер.
3. Обґрунтування технологічних параметрів і конструктивно-технологічної схеми електромеханічного гідролізера для переробки кератиновмісних відходів.
4. Обґрунтування параметрів компонентів силової електричної та пневматичної систем двошнекового електромеханічного гідролізера.

Мета дослідження – підвищення ефективності двошнекового електромеханічного гідролізера при переробці пухо-пір'яної сировини

шляхом удосконалення електропривода завантажувального пристрою та апаратурних рішень.

Об'єкт дослідження – електромагнітні та електромеханічні процеси двошнекового електромеханічного гідролізера при переробці пухо-пир'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 – вимірювання, розрахунок, експериментальні випробування;
- 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 автоматизованого управління, термодинаміки нерівноважних процесів. Для верифікації розрахунків, перевірки теоретичних положень, нових технічних рішень виготовлені та досліджені макетні зразки.

Практичне значення дослідження: обґрунтування параметрів і характеристик регульованого електропривода завантажувального пристрою та електромагнітної системи активної зони двошнекового електромеханічного гідролізера при переробці кератиновмісної сировини.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АГРЕГАТІВ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ПЕРО-ПУХОВОЇ СИРОВИНИ

Оскільки останнім часом застосування кератинового борошна в годівлі худоби підлягає суворим законодавчим обмеженням у більшості європейських країн, у відповідь на спалахи пріонних хвороб у минулому розробка нових методів перетворення стала критичною.

Пташине пір'я на 90% складається з кератину, тому потенційно може бути перетворене на цінні сполуки, або продукти, що складаються з білків кератину, або кератинових волокон. В свинячій щетині високий вміст сірковмісної амінокислоти цистеїну. Тим не менш, це також головна проблема, оскільки перетравність свинячої щетини низька через високу стабільність її структури. Свиняча щетина складається в основному з кератину (90% або більше), нерозчинного білка, наповненого волокнами, пов'язаними дисульфідними зв'язками. Кератин відомий своєю високою механічною стабільністю, нерозчинністю та стійкістю до деградації звичайними протеолітичними ферментами, такими як трипсин, пепсин і папаїн [1].

Звичайні методи, які використовуються для біоконверсії ороговілих відходів, що утворюються під час переробки тваринної сировини, базуються переважно на термічній та хімічній обробці. Застосування вапна або інших лугів, а також мінеральних кислот у поєднанні з термічною обробкою, наприклад для евечної вовни, є відомою практикою для перетворення кератинових матеріалів у гідролізати, застосовувані як компоненти корму, добрива ґрунту тощо, і забезпечує високу продуктивність процесу [2,3]. Обидва підходи дозволяють отримати побічні продукти помірно підвищеної засвоюваності, але зазвичай із поглибленим дисбалансом вмісту незамінних амінокислот. Впровадження ферментативного або мікробного розщеплення значно покращує біологічну та технологічну цінність кератинових шротів або гідролігатів, забезпечуючи більш сприятливий амінокислотний баланс і

високу засвоюваність. Тому багатообіцяючою альтернативою є розробки процесів, засновані на застосуванні кератинолітичних мікроорганізмів або їх протеолітичних ферментів [1,4].

Застосування сирової кератинази *Bacillus cereus* PCM 2849 дозволило провести частковий гідроліз свинячої щетини з попередньою сульфітолітичною обробкою [4]. Було побудовано регресійну модель для опису процесу гідролізу з вивільненням вільних амінокислот при постійному навантаженні ферменту. Гідроліз у заданих умовах дозволив отримати гідролізат, багатий амінокислотами з розгалуженим ланцюгом. Представлений процес представляє альтернативний спосіб поводження зі свинячою щетиною, зроговілими відходами, які важко розкладаються.

Цінність кератинового матеріалу в значній мірі залежить від способу його переробки. Фізична та хімічна поведінка матеріалу залежить від долі амінокислотних залишків та їх розташування вздовж поліпептидних ланцюгів. Основними способами переробки кератину являються гідротермічний, кислотний, лужний і ферментативний.

Кислотний гідроліз кератину призводить до розриву усіх молекулярних зв'язків, можливий гідроліз до отримання суміші вільних амінокислот. В процесі кислотного гідролізу практично повністю руйнується триптофан і частково серин. Треонін, аспаргин і глютамін перетворюються в аспарагінову та глютамінову кислоти, звільняється аміак та утворюється сіль амонію. Лужний гідроліз супроводжується утворенням аміаку і альдегідів, які вступають в реакцію конденсації з аміногрупами. Аналіз досліджень [5] дозволяє зробити висновок, що жорсткі режими хімічних способів обробки призводить до втрати важливих амінокислот, рацемізації амінокислот білкових гідролізатів, утворення циклопептидів і зниження біологічної цінності кінцевого продукту.

Найпоширеніший метод переробки кератинового матеріалу – гідротермічний. Кератин еластичний, здатний розтягуватись при обробці гарячим паром та скорочуватись під час висушування, таким чином

відбувається перехід спіралевидного α -кератину в β -кератин. Механізм переходу пов'язаний з проникненням молекул води всередину фібрилярної структури і утворення водневих зв'язків. При цьому відбувається зменшення міжмолекулярних водневих зв'язків в білку. З ростом температури зменшується кількість водневих зв'язків, тому зменшується міцність кератину.

Гідротермічному методу переробки кератинових матеріалів присвячено велику кількість публікацій, однак кінцева якість продукту коливається в значних межах. Зокрема, серед існуючих відома технологія переробки пухо-пир'яних відходів, що включає нагрів, подрібнення, стерилізацію, гідроліз і сушку [6].

Обладнання складається з чотирьох секцій (рис. 1.1):

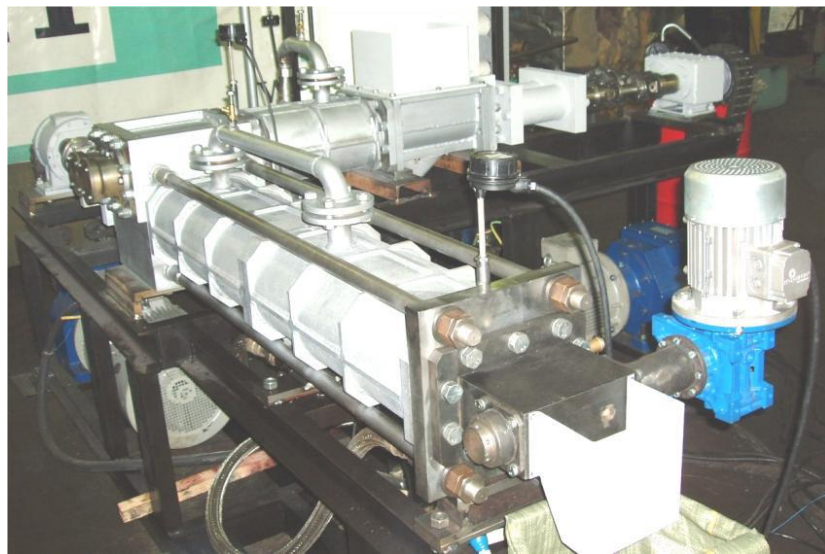


Рис. 1.1. Установка високотемпературного гідролізу пухо-пир'яної сировини у тонкому шарі

1. Завантажувальний бункер з шнеками, що обертаються в протилежних напрямках і здійснюють попереднє подрібнення і нагрівання.
2. 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 °C.

3. Секція подрібнення пера, подальше нагрівання.

4. Секція високотемпературного гідролізу пухо-пір'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 закипанні рідини в каналі і зниженню температури.

Всі чотири секції виконані у вигляді каналів, що мають форму, утворену двома або більше пересіченими паралельними циліндрами, в яких обертаються шнеки, забезпеченими обігрівальними сорочками з циркуляцією теплоносія.

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 одержаного 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.

Аналіз наукових джерел свідчить [7,8], що цілеспрямовану екстракцію кератинів здійснюють методами, які базуються на реакціях окиснення, відновлення та сульфїтолізу. Реакції окиснення кератинів є необоротними та полягають в окисненні цистеїнових залишків до цистеїнової кислоти з утворенням кератоз. Натомість у разі використання відновників отримують кератеїни. У результаті сульфїтолізу, що є оборотним процесом, утворюється S-сульфонат-аніон. Розглянуто перспективні напрями застосування екстрагованих кератинів з овечої вовни та людського волосся. Перший напрям стосується біомедичних технологій, від яких залежать ефективність лікування патологій волоса. Другий напрям полягає у створенні біоматеріалів на основі кератинів із широким спектром застосування, а саме: тканинна інженерія,

репаративна медицина, текстильна й аграрна промисловість, косметологія, виробництво очисного обладнання. Третій напрям пов'язаний із можливістю застосування кератинів для ідентифікації особи. Такі пошуки матимуть позитивний вплив на розвиток антропологічних досліджень і судово-медичної експертизи. Цьому сприяє висока стійкість білків волосся до несприятливих умов навколишнього середовища.

Незважаючи на те, що існує велика кількість літератури про вплив слабких електромагнітних полів надзвичайно низької частоти (ЕМП НЧ) на біохімічні реакції, все ж фізична природа цих ефектів здебільшого невідома. Основною проблемою є невідповідність між нескінченно малою кількістю енергії, яку несе збурення, та сутністю відповіді системи. Понад 10 років тому було стверджено, що слабкий струм може бути індукований у водному розчині глютамінової кислоти під впливом слабого магнітного поля певної частоти. Було перевірено вплив ЕМП НЧ на глютамінову кислоту за допомогою спектроскопії FTIR-ATR, щоб спостерігати структурні зміни, викликані впливом [22]. Зразки протягом 10, 20 або 30 хвилин піддавались впливу магнітного поля, створюваного котушками Гельмольца, а потім поміщались в спектрометр. Після експозиції розчини з різними значеннями рН завжди демонстрували зсув у бік депротонованих видів. Ефект триває кілька хвилин після експозиції до відновлення вихідної конфігурації.

Вплив поля, змінює структура води з точки зору відносної кількості когерентної та некогерентної фракцій. Кількість молекул води, що витісняються з когерентної фази, збільшує кількість молекул на межі області когерентності. Такий регіон найбільше реактивне місце в рідкій воді через велику кількість квазівільних електронів і існування хвоста електродинамічного поля, яке діє як джерело пондеромоторної сили, що діє на іони пропорційно до їх мас, індуюючи таким чином утворення цвітер - іонної форми води $\text{H} \equiv \text{O} - \text{H}$. Завдяки своїм електричним зарядам цвітер-іон (хімічна сполука, в молекулах якої є просторово розділені електричні формально одиничні протилежні заряди) буде добре розчинний у воді, оскільки атоми

водню в об'ємі некогерентної води негайно оточують негативно заряджену групу цвітер-іону, а атоми кисню негайно оточують позитивно заряджену групу цвітер-іону, тим самим повністю розчиняючи її. Цей процес може, нарешті, змінити іонний продукт води $[H^+][OH^-]$ і вплинути на схему видоутворення глютамінової кислоти.

Розглянувши всі методи отримання гідролізату, можна дійти висновку, що необхідний ефект досягається при ферментативної обробці субстрату, оскільки при хімічному і та, частково гідротермічному, способах відбуваються небажані явища, пов'язані з розривом зв'язків у білку, рацемація окремих амінокислот. Переваги ферментативної деструкції з м'якими режимами обробки зумовлені тим, що максимально зберігається набір амінокислот нативних кератинів. Проте, тривалість ферментативної деструкції дуже велика. У зв'язку з цим, доцільно запропонувати комплексний метод біоконверсії кератину, який об'єднує переваги гідротермічного і ферментативного способів і набуває важливого значення у створенні різних білкових добавок та гідролізатів не тільки кормового, а й харчового призначення.

З метою підвищення ефективності технологічного процесу переробки кератин-вмісної сировини, надійності роботи установки і стійкості реакції гідролізу у Національному університеті біоресурсів і природокористування України запропоновано концепцію електротехнологічного комплексу. Необхідно було провести теоретичні та експериментальні дослідження, в результаті яких повинні бути отримані основні обґрунтовані конструктивні і технологічні параметри, при яких якісні показники виконання технологічного процесу мають оптимальні значення та задовольняють таким вимогам: регулювання параметрів і продуктивності процесу гідролізу при зміні властивостей сировини; енергоефективність через використання дисипативної складової електромеханічної частини установки; висока якість одержуваного продукту за рахунок виключення процесів окислення сировини, забезпечення

рівномірності температурного поля в зонах її прогріву та гарантованого існування в сировині води тільки в стані рідини.

Висновки до розділу 1

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

Обґрунтовано доцільність поєднання гідротермічного та ферментативного впливу в межах комплексного методу біоконверсії, що дає змогу підвищити ефективність гідролізу та якість одержаних продуктів.

Перспективним шляхом удосконалення технології є застосування електротехнологічного комплексу, який забезпечує регулювання параметрів процесу, підвищення енергоефективності установки та стабільність якісних показників гідролізату.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДВОШНЕКОВОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА

У сільському господарстві зростає потреба у продуктах переробки кератиновмісних відходів. В Національному університеті біоресурсів і природокористування України проводяться дослідження електротермомеханічного перетворювача технологічного призначення з нелінійними змінами завантажувального та охолоджувального середовища, запропоновано спосіб і пристрій для виготовлення білкового борошна з перопухової сировини.

2.1. Удосконалення конструкції та апаратних рішень двошнекового електромеханічного гідролізера

На рис.2.1 представлено загальний вид експериментального зразка двошнекового електромеханічного гідролізера, а в табл. 2.1 – найменування його відповідних вузлів і деталей.

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). 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 корпуса шнеків (24), за рахунок яких він нагрівається.

Таблиця 2.1

Вузли і деталі двошнекового електромеханічного гідролізера

Поз.	Назва	Приміт.
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	Термодатчик	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	Шибєр	

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 води.

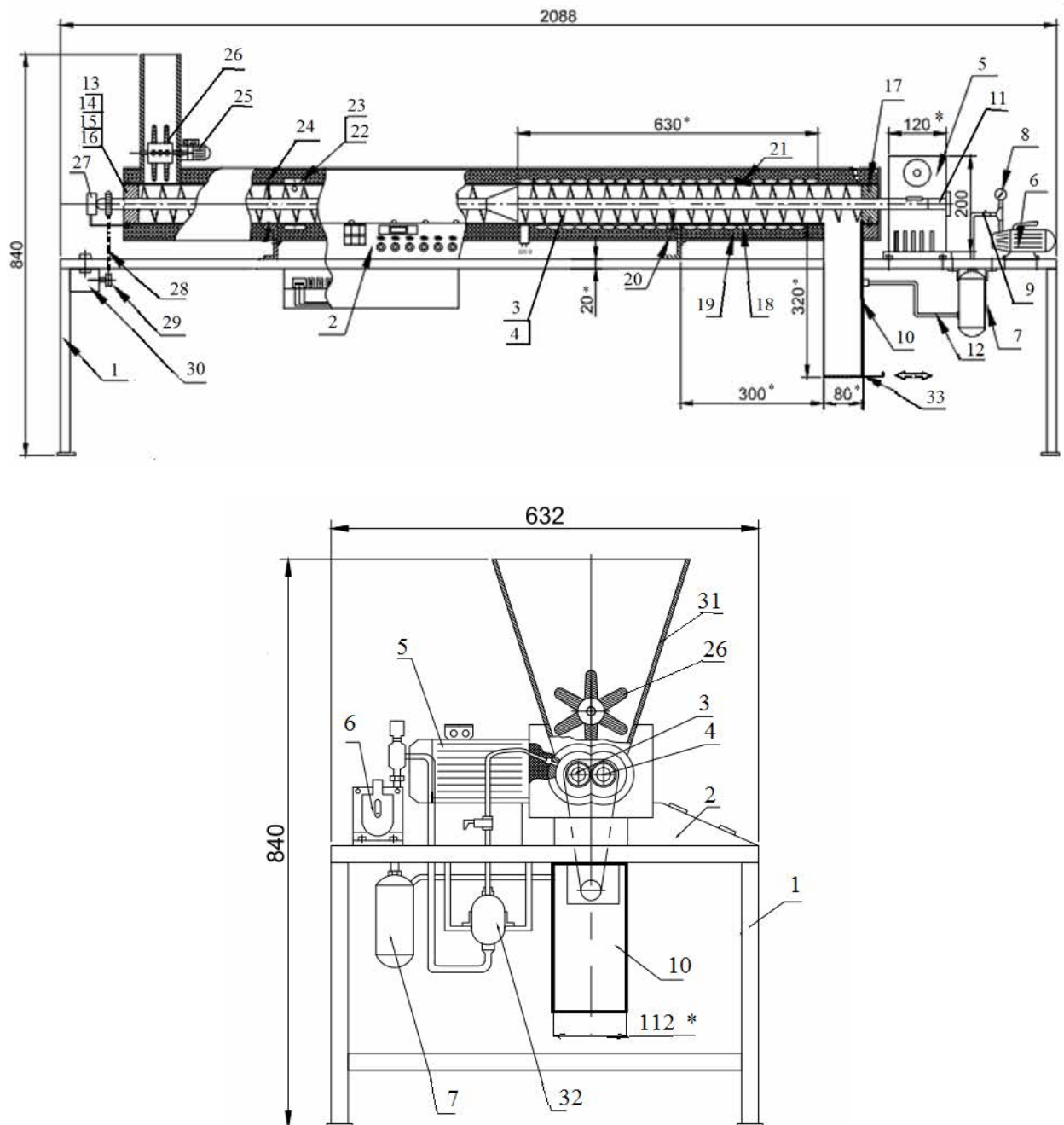


Рис.2.1. Конструкція експериментального зразка двошнекового електромеханічного гідролізера

Також запропоноване наступе технічне рішення. Прикладене ззовні механічне напруження до перо-пухової сировини при її переході під тиском до 10 МПа з ущільнюючої порожнини у реакційну порожнину з тиском 5,0 МПа формує пружну деформацію у нецентросиметричному діелектрику, яким є куряче пір'я, і спричиняє електричну поляризацію, тобто перерозподіл в ньому електричних зарядів. Цей лінійний електромеханічний ефект прямо пропорційний величині деформації. Причиною п'єзоелектричного ефекту є електричні диполі, які спонтанно виникають в структурі високовпорядкованих кератинових волокон за рахунок утворення внутрішньо-молекулярних і міжмолекулярних водневих зв'язків, які з'єднують між собою та одна з одною α -спіралі та β -листки [9]. Еквівалентний п'єзоелектричний коефіцієнт курячого пір'я, що характеризує поздовжній п'єзоефект, знаходиться в інтервалі від 1.6 пКл/Н до 2.1 пКл/Н. Структура шару курячого пір'я при переході з ущільнюючої порожнини під тиском до 10 МПа у реакційну порожнину з тиском 5 МПа формує між електродом давача контролю тиску та конусом, виконаним з міді, напругу більше 10 В, що достатньо для використання цієї функції п'єзоелектричного генератора як джерела живлення другого давача тиску або одночасного живлення усіх світлодіодів індикації систем контролю і керування електричного гідролізатора. Створений електричний сигнал також використовується для безпосереднього визначення тиску в реакційній зоні шляхом попереднього градування вихідної напруги п'єзоелектричного генератора (давача тиску) за величиною деформації. Безпосередній контроль тиску в зоні розташування конусів відомими вимірювальними засобами практично важко реалізувати, оскільки в означеній зоні діють такі фактори як висока температура і тиск, а також обмеженість об'єму для розташування давача.

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.

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

Схема управління температурним режимом, який створює індуктор обігрівального пристрою, представлена на рис.2.2. Для максимального збереження амінокислот і якості жиру тривалість високотемпературної обробки в шнековій установці встановлена не вище 110 секунд.

Схема управління електроприводом шнеків представлена на рис.2.3.

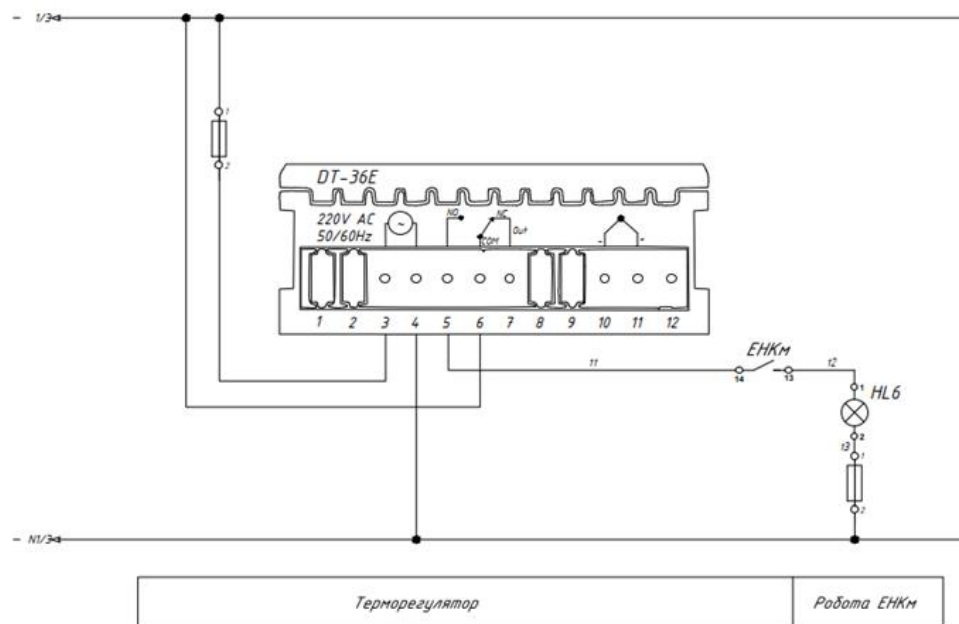


Рис.2.2. Схема управління температурним режимом, який створює індуктор обігрівального пристрою

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.

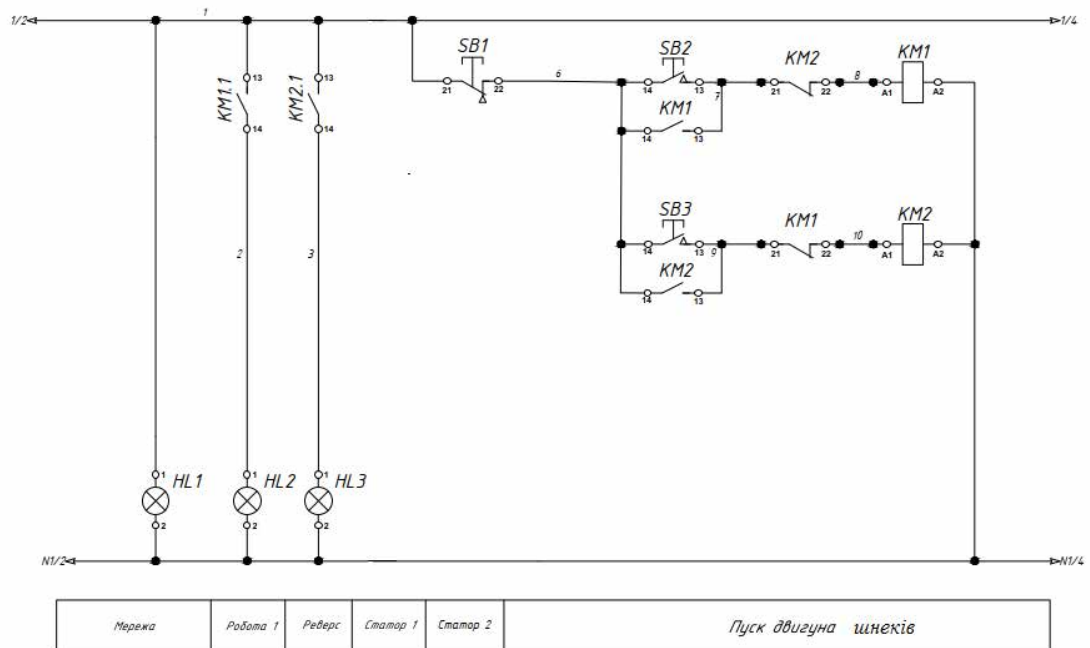
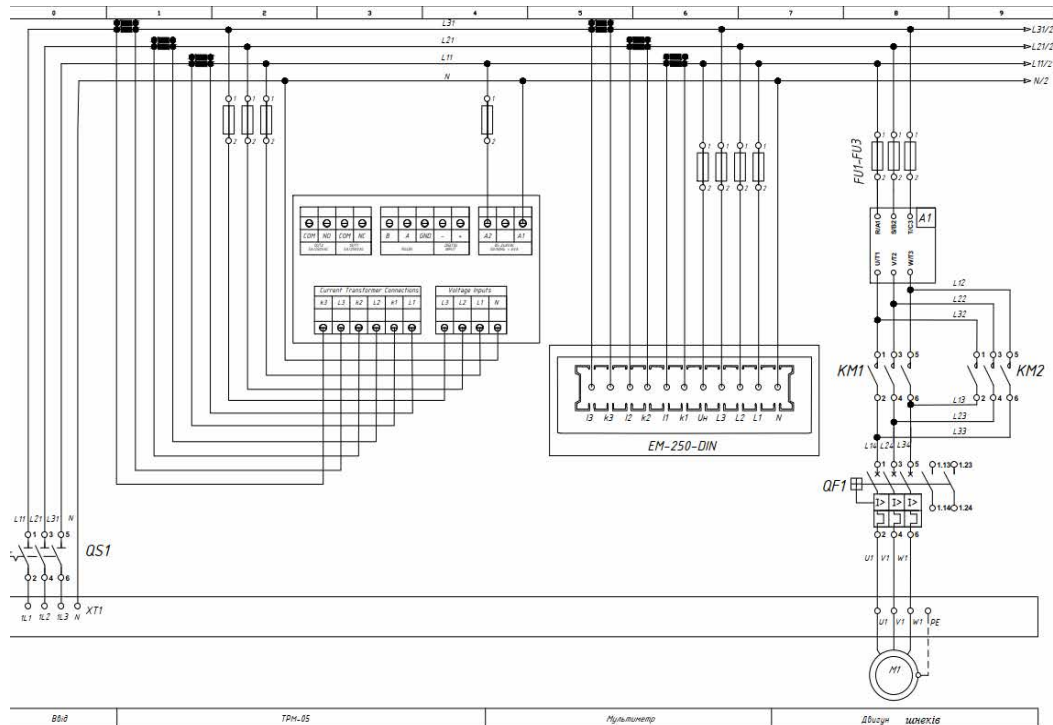


Рис.2.3. Схема управління електроприводом шнеків і підключення приладів реєстрації поточних значень електричних величин і індикації

На рис. 2.4 представлена запропонована схема управління пневматичною системою вакуумування та схема електронного реле часу.

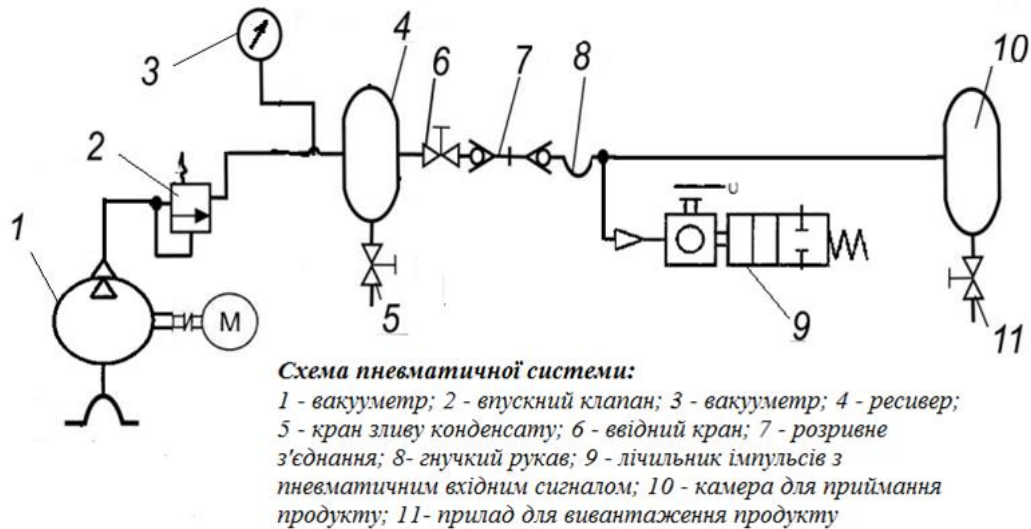


Рис.2.4. Схема пневматичної системи

За рахунок вакуумних імпульсів здійснюється видалення надлишку вологи з сировини до значення 8-12 %. Під впливом вакууму напівфабрикат 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.

На рис. 2.4 представлена схема електронного реле часу.

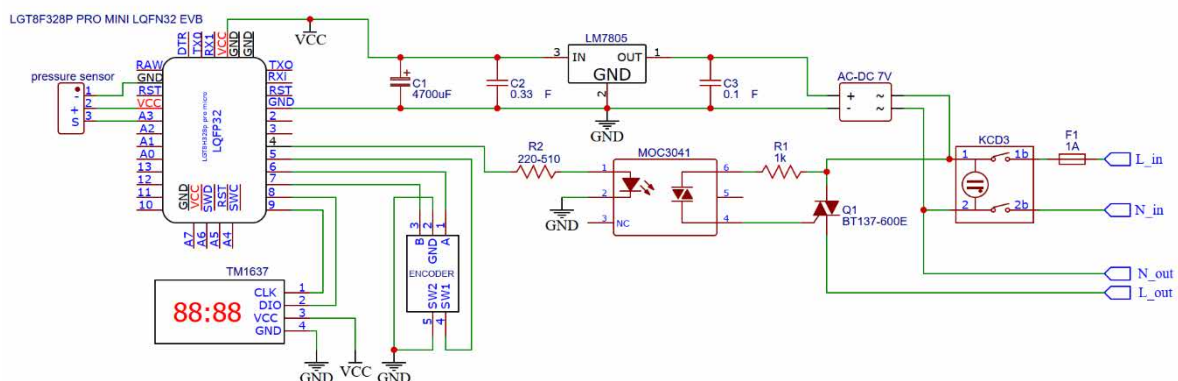


Рис.2.5. Схема електронного реле часу

По завершенню процесу обробки отримують розсипчасту, дрібно помелену фракцію яку можна використовувати як білкову добавку для годівлі тварин та птиці без додаткового осушування.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА

3.1 Дослідження електропривода з напівпровідниковим перетворювачем частоти завантажувального вузла електромеханічного гідролізера

Однією з задач є удосконалення конструкції і зниження енергетичних витрат гідролізатора. Метою роботи було дослідження електропривода з напівпровідниковим перетворювачем частоти завантажувального вузла подавання перо-пухової сировини у електромеханічний гідролізер для зниження енергетичних витрат і забезпечення ефективного перетворення кератинових відходів у продукт з доданою вартістю.

Неподрібнена перо-пухова сировина з вихідною вологістю 60-80 % безперервно подається до завантажувального пристрою (рис.3.1.).



Рис. 3.1. Завантажувальний пристрій

Для привода завантажувача застосовано асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором, що забезпечує стабільний обертальний момент та можливість роботи в умовах змінного навантаження.

За допомогою програмного забезпечення DIMASDrive [10] розробленого кафедрою електричних машин Одеського національного політехнічного університету, що дозволяє отримувати регульовальні характеристики АТ у різних системах регульованих електроприводів, що відрізняються типами перетворювачів, видами регулювання, законами управління, було здійснено моделювання і аналіз роботи асинхронного двигуна 4A132M6 в частотно-регульованому електроприводі при різних налаштуваннях перетворювача для вентиляторного навантаження. На рис. 3.2 зображено номінальні характеристики досліджуваного двигуна.

Ном. дані		Конструктивне виконання	
Потужність, кВт(для серійних номінальна)	7.5	Число пазів статора	54
Фазна напруга, В(для серійних номінальна)	220	Число пазів ротора	51
Ковзання, в.о.(для серійних номінальна)	0.032	Число витків обмотки статора	135
Число пар полюсів	3	Площа перерізу ефективного провідника обмотки статора, мм ²	2.26
Частота живлячої напруги, Гц (для серійних номінальна)	50	Число паралельних гілок обмотки статора	1
Ступень захисту IP	44	Відносне скорочення шагу обмотки статора	1
Клас ізоляції	B (130°C)	Висота (діаметр) ізолюваного провідника статора, мм	1.28
Матеріал станини	Серый чуг	Число елементарних провідників в одному ефективному	2
Висота вісі обертання	132	Схема з'єднання обмотки статора	зірка

Рис. 3.2 Номінальні характеристики двигуна 4A132M6

В електроприводі основний елемент керування двигуном - напівпровідниковий перетворювач частоти з широтно-імпульсною модуляцією (Рис. 3.3).

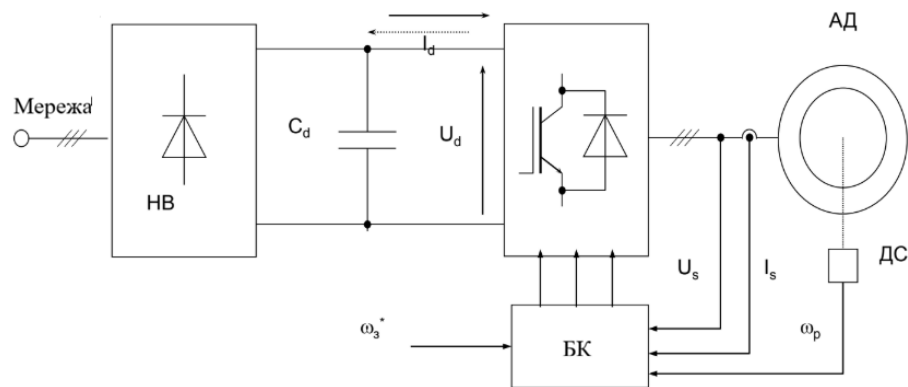


Рис. 3.3. Функціональна схема ЕП на основі ПЧ з АІН з широтно-імпульсним регулюванням

Регулювання частоти і величини напруги на двигуні, відповідно до заданого сигналу ω_3 , здійснюється в АІН за рахунок використання в блоці керування (БК) алгоритмів високочастотного ШІМ-керування шляхом зміни програми перемикання вентилів інвертора при $U_d = \text{const}$. Спеціальні алгоритми ШІМ, крім регулювання, здійснюють також поліпшення гармонійного состава вихідної напруги, що забезпечує практично синусоїдальний струм АД. При цьому форма кривій вихідної напруги інвертора являє собою високочастотну двохполярну послідовність прямокутних імпульсів. Частота імпульсів визначається частотою модуляції, яка звичайно становить від 2 до 20 кГц, тобто в багато разів перевершує вихідну частоту ПЧ, внаслідок чого до силових ключів АІН пред'являються вимоги високої швидкодії та малих динамічних втрат. Блок керування здійснює постійний контроль стану АД шляхом виміру напруги U_s і струму I_s на вході АД. Частота обертання вала ω_p контролюється за допомогою датчика швидкості ДШ, або розрахунковим шляхом по математичній моделі АД [10].

До налаштувань перетворювача відносяться закон частотного керування, налаштування базового значення частоти перетворювача, введення бустерної напруги. Послідовно проаналізовані характеристики двигуна при

завдані вищезгаданих налаштувань. Для цього усі потрібні характеристики повинні бути відображені попарно з базовим варіантом при тих чи інших налаштуваннях. На рис.3.3 зображено налаштування перетворювача частоти з широтно-імпульсною модуляцією.

Данные ППЧ - ain_chim

Номінальна потужність, кВт	7.5	Частота комутації, кГц	12	
Макс. вих. напруга, В	220	Швидкість зміни частоти, Гц/с	100	
Ном. вихідна частота, Гц	50	Закон керування	☒ $U/f = \text{const}$ ☐ $\Phi = \text{const}$	
Діапазон зміни частот	з 1 до 100		☐ $U/\sqrt{f} = \text{const}$ ☐ $E_r/f = \text{const}$	
ККД	1		☐ $U/f^2 = \text{const}$ ☐ $I_s/f_r = \text{const}$	
Коеф-т схеми випрямляча	1		☐ $U = \text{const}, f = \text{var}$ ☐ $I_s/\sqrt{f_r} = \text{const}$	
Коеф-т схеми інвертора	1	☐ $E_s/f = \text{const}$ ☐ $I_s/f_r^2 = \text{const}$	☐ 1 ☐ 2 ☐ $I = \text{const}, f = \text{var}$	
Коеф-т звена пост. тока	1	☐ 3 ☐ 4	Бустерна напруга, В	0
Вид зворотного зв'язку	☒ Разімкнена ☐ ОЗ з швидкості	Вартість, у.о.	1000	?
Число графіків	20	Вага, кг	30	
Коефіцієнт зміни частоти		Висота, мм	500	
Начальне значення	0.1	Ширина, мм	400	
Величина прирощення	0.1	Глубина, мм	250	
		Змінити		Відновити

Рис. 3.3. Налаштування перетворювача частоти з широтно-імпульсною модуляцією

Аналіз роботи пов'язано з отриманням регульовальних характеристик, а саме: залежностей електричних, енергетичних, механічних, теплових, віброакустичних показників від частоти обертання при роботі електропривода на певне за характером та величиною навантаження.

Дослідження запуску навантажувального вузла проводилось із навантаженням еквівалентно повним завантаженням вологою перо-пуховою сировиною. В експерименті досліджувався запуск установки з вентиляторною навантажувальною характеристикою та початковим моментом 10 Нм, який буде збільшуватись пропорційно квадрату швидкості (рис. 3.4.)

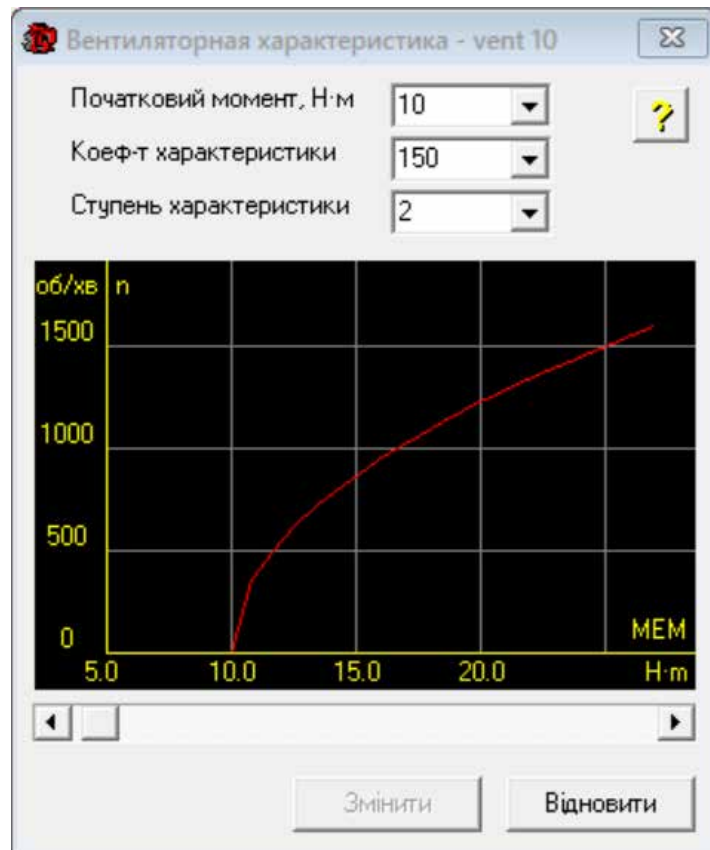


Рис. 3.4. Механічна характеристика

Запуск вузла подачі здійснюється поступово до номінальної швидкості 1300 об/хв двигуна для зменшення пускових струмів та уникнення перевантажень. Керування електропривода вузла подачі виконує напівпровідниковий перетворювач частоти з широтно-імпульсною модуляцією, який дозволяє плавно регулювати швидкість обертання та змінювати її в залежності від режиму роботи. Вихід на номінальну частоту обертання триває 3 сек, покроково з інтервалом 1 сек та швидкостями 300 об/хв, 750 об/хв, 1000/об хв та 1300 об/хв. При дослідженні було виявлено що при вентиляторному навантаженні ступінчастий розгін двигуна значно

зменшує пусковий струм та дозволяє запускати вузол подачі з навантаженням. Тахограма запуску вузла подачі при змінах режиму (Рис. 3.5.)

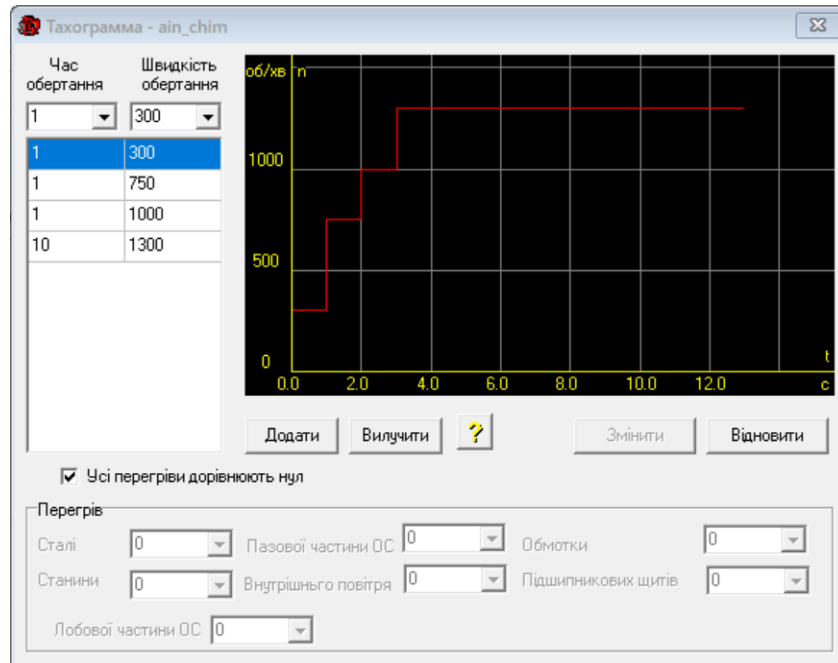


Рис. 3.5. Тахограма запуску вузла подачі при змінах режиму

На рис. 3.6. графіки струмів ступінчастого розгону двигуна, найбільший струм 29 А виникає при запуску двигуна та розгону до швидкості 300 об/хв, це короткочасний стрибок тривалістю менше 0.1 с. Це коливальне згасаюче явище яке триває 0.5 с, в подальшому струм стабілізується та при переході на вищу швидкість обертання зменшується, при переході стрибки струмів також зменшуються. Таким чином ступінчастий розгін зменшує пускові струми, підтримуючи надійність ізоляторів та обмотки двигуна.

Під час перехідних процесів ККД електропривода з АІН-ШІМ суттєво змінюється та має коливальний характер (Рис. 3.7.). У пусковому режимі ККД є мінімальним через значні пускові струми та втрати енергії. Після затухання перехідних процесів система переходить в усталений режим із ККД близько 0.87, що свідчить про ефективну роботу електропривода. ККД електродвигуна при перехідних процесах для системи з АІН-ШІМ (суттєво відрізняється від

усталеного режиму, але значно зменшуються пускові струми та плавність пуску двигуна.

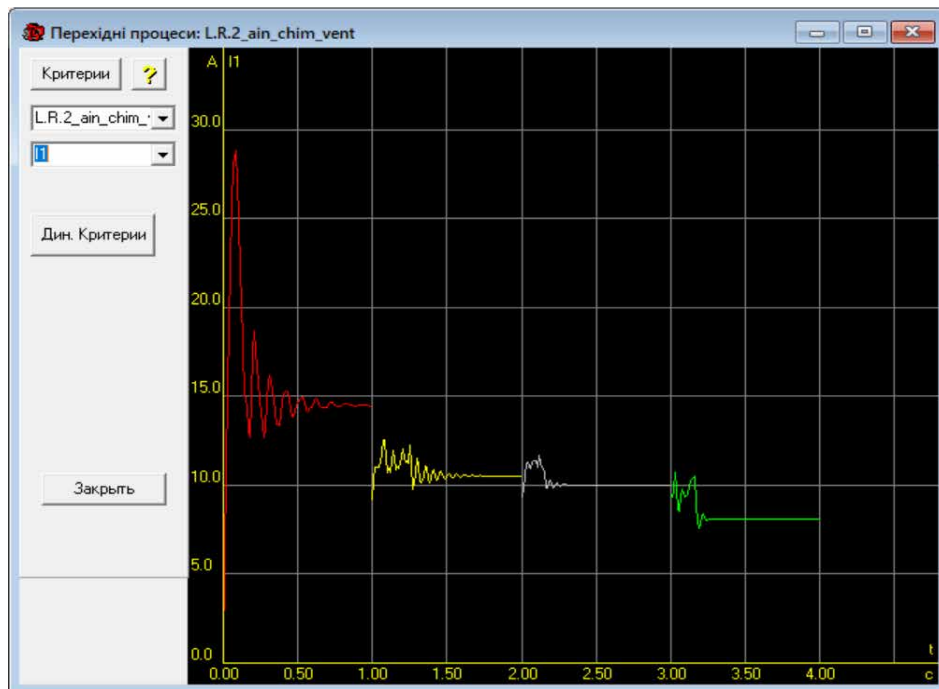


Рис. 3.6. Струми перехідних процесів

Отримані значення основних критеріїв при заданому діапазоні регулювання або тахограми із визначеними тривалостями роботи на конкретних частотах обертання. До основних критеріїв роботи двигуна віднесені ККД та коефіцієнт потужності, а також зведені витрати АД та усього електроприводу.

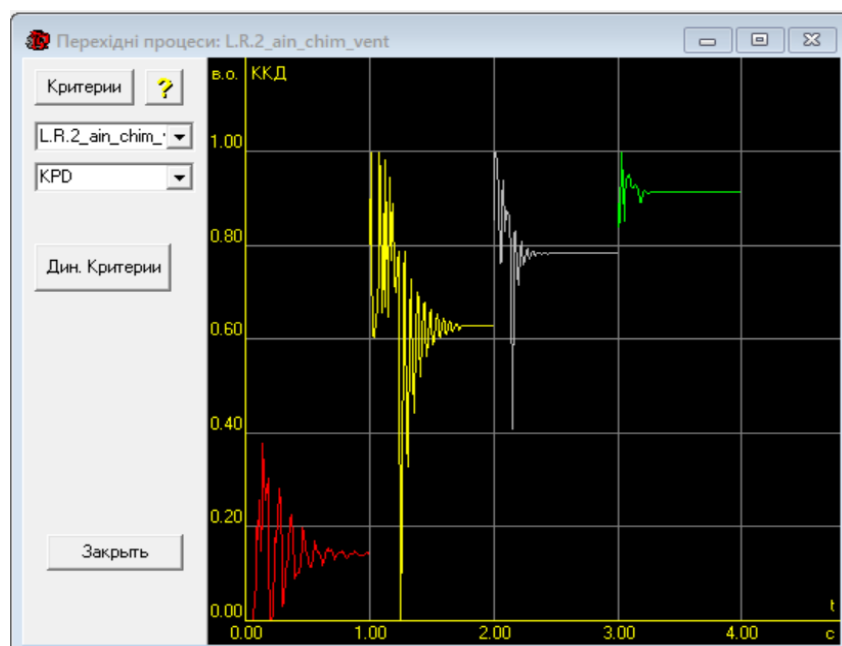


Рис. 3.7. ККД електроприводу

Проведено дослідження під час тривалої експлуатації двигуна для оцінки показників температури (Рис. 2.7.) щоб уникнути перегріву. У початковий момент роботи спостерігається інтенсивне зростання температури, що обумовлено великими пусковими струмами та значними втратами енергії в обмотках електродвигуна. На даному етапі двигун переходить із холодного стану до робочого режиму, внаслідок чого відбувається швидке накопичення теплової енергії. Подальший характер кривої свідчить про поступове зменшення швидкості нагрівання. Згідно дослідження температура двигуна залишається сталою 43°C під час роботи з робочим навантаженням та номінальною швидкістю 1300 об/хв. Це пояснюється тим, що зі збільшенням температури посилюється тепловіддача у навколишнє середовище, а система поступово наближається до стану теплової рівноваги. Процес нагрівання має аперіодичний характер і відповідає типовій тепловій моделі електродвигуна першого порядку.

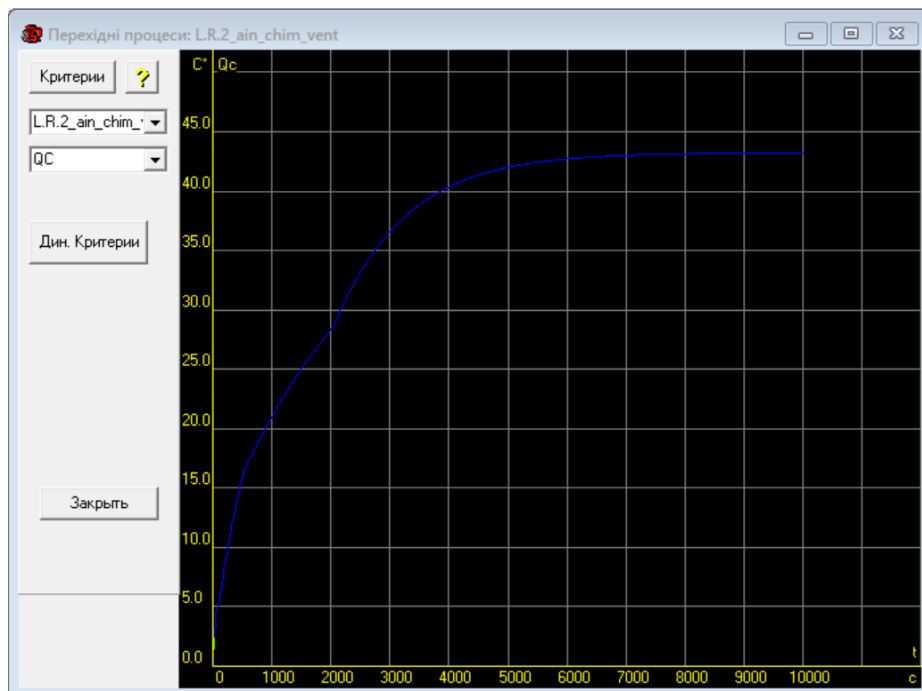


Рис.3.8. Показники температури двигуна під час тривалої роботи

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА ДВОШНЕКОВОГО ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ГІДРОЛІЗЕРА

4.1. Методика випробувань експериментального зразка електромеханічного гідролізера.

Основою досліджень є перевірка конструктивно-технологічних параметрів модифікацій дослідної установки електромеханічного гідролізера для переробки перо-пухової сировини, відповідності до усіх норм ПУЕ, Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів.

Таблиця 4.1

Технічні характеристики

Параметри та технічні характеристики	Нормоване значення	Примітка
<i>Електромагнітні параметри і характеристики</i>		
Інтервал регулювання напруги і частоти електроживлення гідролізера	3/PE 400/480 V (320 V...528 V) 50/60 Гц (48 Гц...62 Гц)	При використанні НПЧ
Величина магнітної індукції, створюваної постійними магнітами для забезпечення вилучення парамагнітного кисню в камері деаерації	Магнітна індукція 0,025 Т	Для конструкції двошнекового електромеханічного гідролізера
Величина магнітної індукції в реакційній порожнині робочої частини гідролізера	Градiєнтне магнітне поле з частотою 1–50 Гц та магнітною індукцією до 0,065 Тл	
Активний опір обмоток статора постійному струму	Опори обмоток окремих фаз повинні бути практично однаковими. Відхилення між результатами вимірювань різних фаз, попередніми вимірюваннями та паспортними даними	Вимірювання виконують на електричній машині в холодному стані

Продовження табл. 4.1

	виробника не повинні перевищувати 2 %.	
Напруга спрацювання та кількість комутаційних операцій під час випробувань.	Під час випробувань напруга на шинах оперативного струму повинна дорівнювати 0,9 (0,85) Uном, при цьому виконується 5 операцій увімкнення.	
<i>Показники теплового режиму</i>		
Температура в ущільнювальній зоні робочої частини гідролізера	Середня температура 60°C	
Температурний режим реакційної зони робочої частини гідролізера	Температура 180-260°C	Відповідно до якісних показників сировини
Значення температури корпусу гідролізера	Не вище 50°C	
Значення температури зовнішнього корпусу мотор-редуктора	Менше 60°C	
<i>Параметри гідродинамічного режиму</i>		
Значення тиску в зоні ущільнення робочої частини гідролізера	Значення тиску 0,5–5,0 МПа за різних швидкостей подачі сировини	
Значення тиску в області розташування ущільнювальних конусів гідролізера	Тиск у діапазоні від 1 до 20 МПа	Відповідно до якісних показників сировини
Значення тиску в реакційній зоні робочої частини гідролізера.	Тиск від 1,0 МПа до 5,0 МПа	Відповідно до якісних показників сировини
Моніторинг рівня розрідження в ресивері системи деаерації.	Не менше 0,3 Па	
Моніторинг параметрів вакууму в ресивері камери готової продукції.	Не менше 0,3 Па	
<i>Енергетичні характеристики та показники ефективності</i>		
Напруга	380 В	
Потужність	не вище 4,2 кВт.	
Коефіцієнт потужності	Не нижче 0,77	
Вихід готового продукту	Номінальна продуктивність щонайменше 50 кг/год.	
Питомі енерговитрати процесу (відношення	не вище 125 кВт/ т	

Продовження табл. 4.1

споживаної потужності до продуктивності установки)		
Перевірка здатності технологічного процесу забезпечувати виробництво продукту	Вимоги до борошна передбачають розсипчасту дрібномелену структуру з вологістю 8–12 %.	
<i>Ергономічні характеристики та рівень безпеки обладнання</i>		
Опір ізоляції електродвигунів, призначених для напруги до 1 кВ, незалежно від потужності.	Опір ізоляції повинен становити не менше 0,5 МОм за температури ізоляції 10–30 °С. Коефіцієнт абсорбції не нормується	
Опір ізоляції електровиробів та апаратів при напрузі понад 100 до 380 В	Опір ізоляції встановлюється згідно з паспортом або ТУ конкретного виробу, але не повинен бути меншим ніж 0,5	
Опір ізоляції нагрівачів стрічкового або кільцевого виконання	Не менше ніж 0,5 МОм	
Контроль наявності засобів індикації та приладового відображення стану електричних, пневматичних, теплових і електромеханічних систем гідролізера.	В наявності	
Рухомі частини електродвигунів і елементи їх з'єднання з механізмами (муфти, шківів, ланцюгові передачі) повинні бути оснащені захисними огороженнями від випадкового контакту	Наявність (пункт 5.3.9 ПУЕ)	

Аналіз електромагнітних параметрів. Функціональна схема підключення частотного перетворювача для дослідження електромагнітних параметрів електромеханічного гідролізера показана на рисунку 4.5.

Вимірювання частоти та індукції магнітного поля в зоні ущільнення електромеханічного гідролізера. Для проведення вимірів частоти та індукції магнітного поля потрібно частково розібрати захисну частину та теплоізоляцію дослідної установки для уникнення похибки та перешкод для приладів. У вимірюваннях використані прилади які показані на рис. 4.7 :

Gigahertz Solutions ME3030B, частотний діапазон 16 Гц — 100 кГц, дуже чутливі до низьких частот і мають функцію аудіо індикації (ефект лічильника Гейгера) для швидкого пошуку джерел.

TriField TF2, професійний багатофункціональний вимірювач електромагнітних полів, який поєднує в одному приладі гаусметр, вимірювач електричного поля та RF-детектор. Діапазоні частот від 20 МГц до 6 ГГц.

GOYOJO AMST компактний портативний гаусметр (тесламетр), призначений для вимірювання магнітної індукції постійного магнітного поля. Прилад оснащений Hall-датчиком високої чутливості та підтримує вимірювання у мТл і Гс, діапазон вимірювання: 0–2400 мТл.



Рис. 4.7. Вимірювальні прилади для індукції та частоти магнітного поля

Магнітна індукція, яка створюється постійними магнітами для процесу всмоктування кисню в камері деаерації. Постійне магнітне поле вимірюють із використанням портативного цифрового гаусметра/тесламетра GOYOJO AMST з датчиком Холла в отворі, в який згодом підключається

шланг від ресивера для всмоктування кисню в деаераційній камері (рис.4.8). Вимірюється магнітне поле, створене двома постійними магнітами, що встановлені на корпусі шнеків.



Рис.4.8. Використання тесламетра GOYOJO AMST для виміру магнітного

Опір в обмотці статора постійного струму. Вимірювання опору статорів асинхронних двигунів мотор-редукторів та статорів, які створюють обертове магнітне поле в робочих частинах електромеханічного гідролізера, проводять за умови що установка не досягла робочої температури для уникнення похибок. Вимірювання здійснюється за допомогою мікроомметра VTSYIQI. Це серія цифрових мікроомметрів і низькоомних тестерів, призначених для вимірювання малих електричних опорів у кабелях, контактах, обмотках двигунів і трансформаторів з діапазоном $0.001 \text{ м}\Omega$ – $300 \text{ к}\Omega$ та струмом до 2 А (рис.4.9).



Рис.4.9. Мікроомметр VTSYIQI

Перевірка параметрів спрацювання та комутаційної стійкості контакторів і автоматичних вимикачів. Усі електромагнітні комутаційні пристрої повинні залишатись у ввімкненому стані, а також вимикатись при заданій напрузі згідно з паспортом пристрою. Також варто враховувати кількість циклів комутації для кожного пристрою. Перевірка проводиться за допомогою випробувального приладу УПА-10. Даний пристрій призначений для перевірки параметрів спрацювання автоматичних вимикачів, релейного захисту та іншої низьковольтної комутаційної апаратури шляхом подачі регульованого струмового навантаження..



Рис.4.10. Пристрій прогрузки УПА-10

Контроль температури робочої частини електромеханічного гідролізера контролюється та регулюється за установленим значенням температури за допомогою приладу Delta DTA (рис. 4.11). Delta DTA — це промисловий PID-терморегулятор (контролер температури) виробництва Delta Electronics.



Рис.4.11. Терморегулятор Delta DTA

Терморегулятор працює як автоматична система підтримання температури за принципом зворотного зв'язку. На вході контролер отримує сигнал від термопари J, сигнал перетворюється в цифрове значення температури з подальшим керуванням нагрівального елемента через виконавчий електричний пристрій. Термопара встановлюється на корпус шнека гідролізера, як показано на рис.4.12

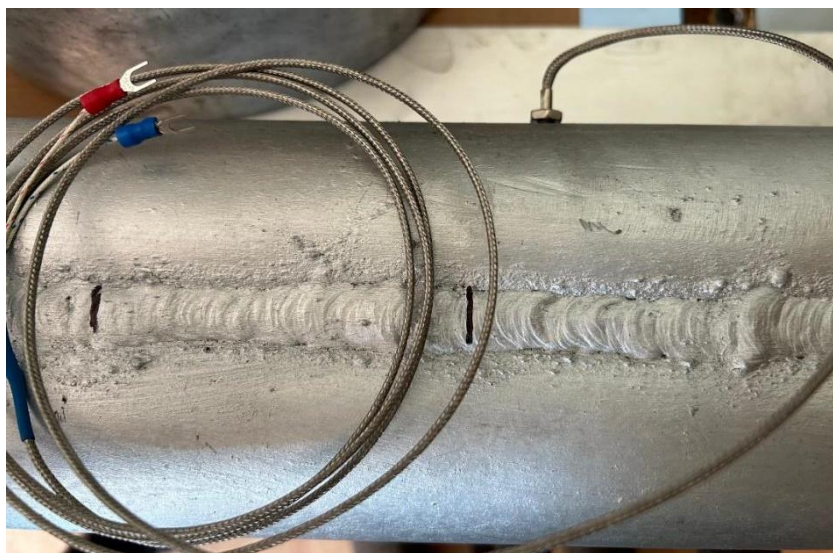


Рис. 4.12 Кріплення термопари

Періодично корпус гідролізера та асинхронного двигуна контролюється за допомогою пірометра (безконтактний термометр) BENETECH GM533A (рис.10.), діапазон вимірювання $-50-530\text{ }^{\circ}\text{C}$, показник візування 12:1, коефіцієнт теплового випромінювання 0,1-1, спектр 5-14 мкм.

Моніторинг гідродинамічних характеристик. Вимірювання тиску робочої зони гідролізера здійснюється за допомогою манометру REFCO BM2-6, який врізається в корпус шнека та безпосередньо підключений до порожнини (рис.4.13).

Для визначення тиску в зоні ущільнювальних конусів та реакційній високотемпературній порожнині робочої частини гідролізера застосовуються манометри WIKA A-10 (рис. 4.14.) для вимірювання тиску агресивних, високотемпературних або в'язких середовищ, допустимий діапазон вимірювання до 100 МПа.



Рис.4.13. Встановлення манометру REFCO BM2-6



Рис.4.14. Кріплення високотемпературного діафрагмового манометра WIKА
А-10

На рисунку 4.14. показано вузол підключення шланга ресивера для всмоктування парамагнітного кисню в камері деаерації. Вимірювання вакууму

в ресивері камери деаерації та камери готового продукту проводиться із застосуванням вакуумметра -100...0 кПа.

Розрахунок енергетичних параметрів і критеріїв ефективності. Вимірювання та контроль напруги живлення, струмів, споживаної потужності та коефіцієнта потужності проводяться за допомогою аналізатора мережі TPM-05 (рис.4.15)



Рис.4.15. Аналізатор мережі TPM-05

Аналізатор мережі TPM-05 забезпечує аналіз до 55 гармонік за струмом і напругою та відображає активну потужність по кожній фазі окремо і в сумі (P_1 , P_2 , P_3 , P_{Σ}), визначає реактивну потужність по кожній фазі та її сумарне значення (Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_{Σ}), показує обсяги імпорту та експорту електроенергії (кВт*год), показує ємнісну та індуктивну складові реактивної енергії ($\Sigma \text{kVAr} \cdot \text{год}$). Можливість реєстрації подій, наявність годинника реального часу та діапазон вимірювання напруги 0-600 кВ, діапазон вимірювання струму 1mA-27000A

Масова продуктивність готового виробу обчислюються на основі експериментальних даних. Для цього за допомогою лабораторних ваг моделі ТВЕ 6–0,1–а (похибка вимірювань — 0,1 г) визначається маса кожної окремої порції, що надходить за певний інтервал часу. Далі знаходиться відношення загальної маси відібраного продукту до тривалості його накопичення. Для оцінки енергоємності процесу споживана потужність ділиться на продуктивність обладнання.

Відповідно до ергономічних норм та вимог безпеки до обладнання, опір ізоляції вимірюється мегаомметром UNI-T UT501A (рис. 4.16). Контролю підлягають: обмотки електродвигунів, електроапарати та вироби з робочою напругою в діапазоні 100–380 В, а також ізоляційний шар стрічкових чи кільцевих нагрівальних елементів.



Рис.4.16. Мегаомметр UNI-T UT501A

4.2. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

Зберігаючи принципові ознаки вищевказаних патентів на спосіб та обладнання для виробництва кормового білкового борошна з перо-пухової сировини, габаритні розміри і розміри окремих вузлів, електрична потужність експериментального зразка у двох модифікаціях були вибрані виходячи з таких умов:

- обмеженість потужності електричної мережі живлення лабораторії;
- обмеженість у габаритних розмірах виготовлення деталей і вузлів на технологічному обладнанні НУБіП України (верстати, зварювальне обладнання);

В результаті були запропоновані конструкції та розміри основних механічних вузлів шнекових гідролізерів, які представлені на рис. 4.1 - 4.3.

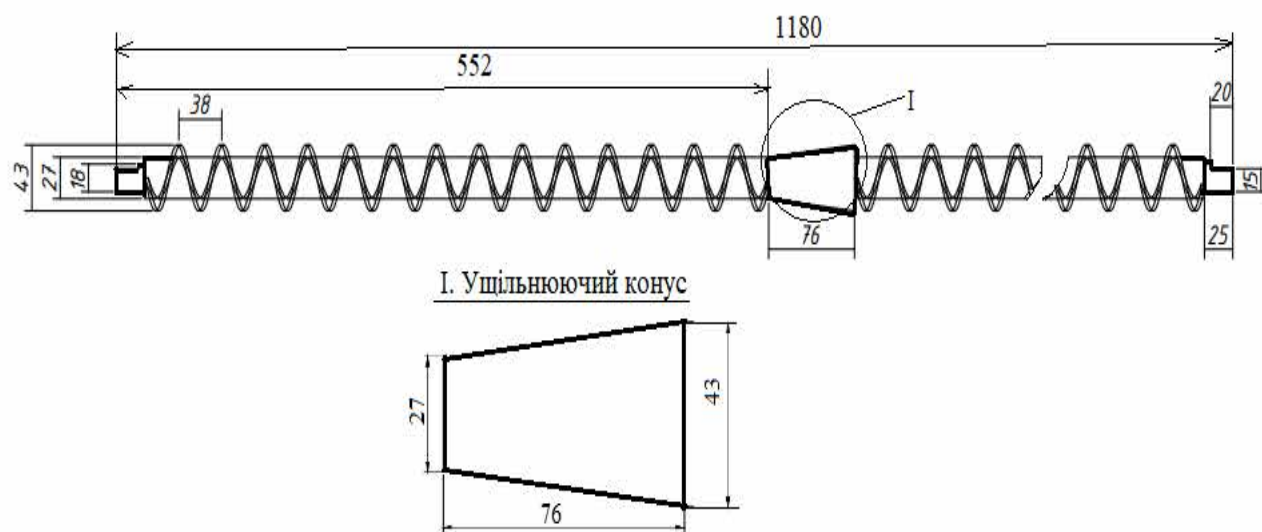


Рис. 4.17. Шнек одношнекового електромеханічного гідролізера

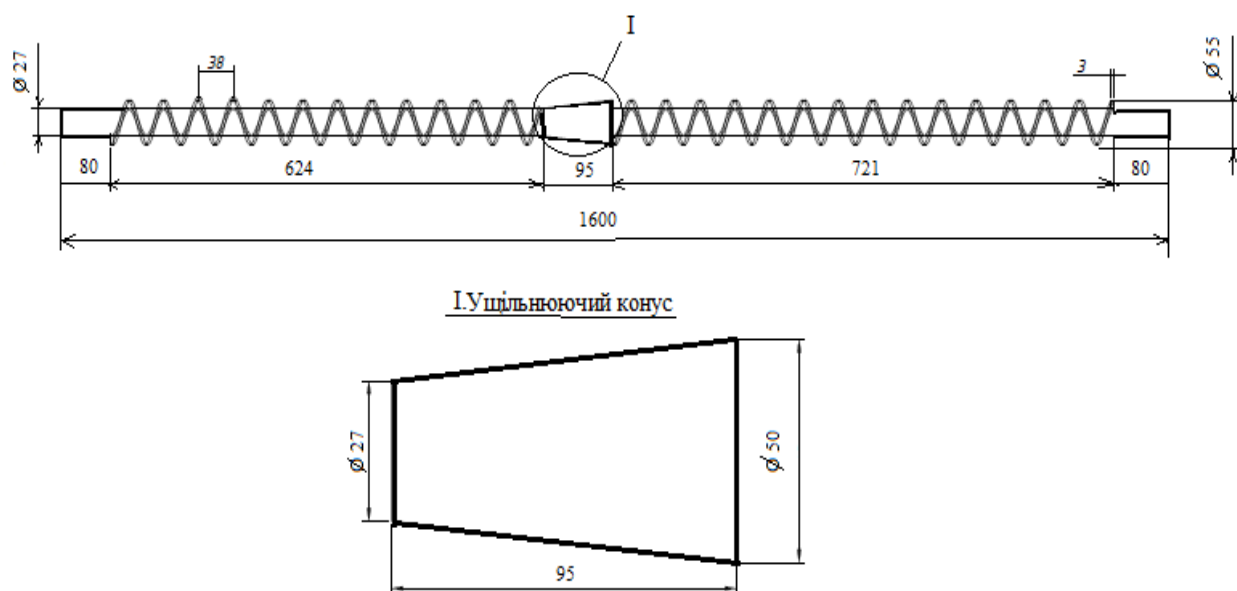


Рис. 4.18. Шнек двошнекового електромеханічного гідролізера

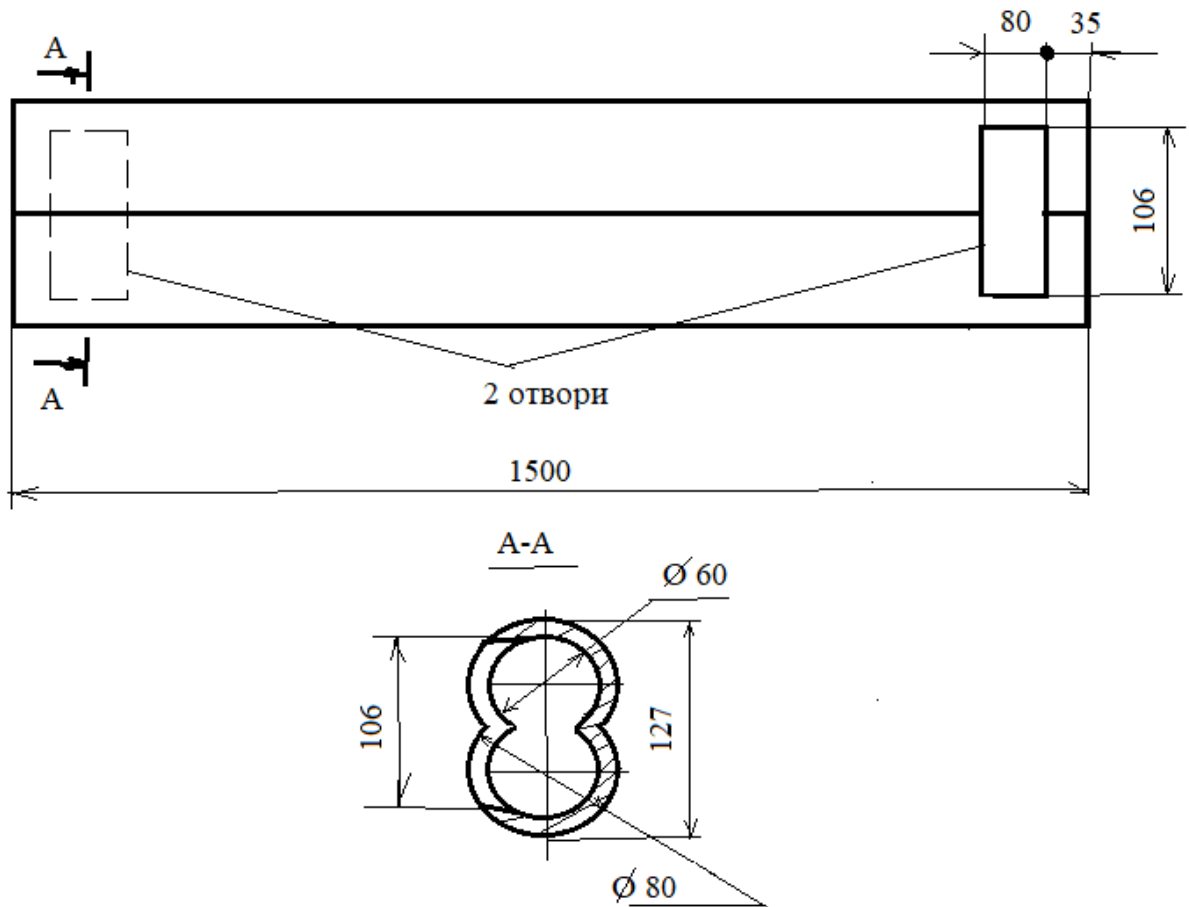


Рис. 4.19. Корпус двошнекового електромеханічного гідролізера

4.2.1. Розрахунок продуктивності електромеханічного гідролізера.

Використовуємо формулу для орієнтовного визначення продуктивності двошнекового гідролізера:

$$Q = 2 \cdot (S - s) \cdot k \cdot p \cdot n \cdot I \cdot s_w \cdot 60 =$$

$$2 \cdot (0,00237 - 0,0006) \cdot 0,98 \cdot 0,03865 \cdot 0,95 \cdot 15 \cdot 60 = 7,33 \text{ кг/год}, \quad (4.1)$$

$$S = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{0,055}{2} \right)^2 = 0,00237 \quad (4.2)$$

$$s = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{0,027}{2} \right)^2 = 0,0006 \text{ м}^2 \quad (4.3)$$

де S - площа по зовнішньому діаметру D витка шнека, м^2 ;

s – площа по внутрішньому діаметру d витка шнека ($\varnothing$ вала), м^2 ;

k – коефіцієнт, що враховує перекриття витків двох шнеків;

p – крок (проміжок між витками), м;

n – швидкість обертання, об/хв.;

I – коефіцієнт наповнення желоба субстанцією (пір'ям) (приблизно 95%);

s_w – питома вага субстанції, кг/м³, для пір'я ≈ 15 кг/м³.

Використовуємо формулу для орієнтовного визначення продуктивності шнека:

$$Q = (S - s) \cdot p \cdot n \cdot I \cdot s_w \cdot 60 =$$

$$= (0,0015 - 0,0006) \cdot 0,038 \cdot 65 \cdot 0,95 \cdot 15 \cdot 60 = 1,9 \text{ кг/год} \quad (4.4)$$

$$S = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{0,043}{2} \right)^2 = 0,0015 \text{ м}^2 \quad (4.5)$$

$$s = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{0,027}{2} \right)^2 = 0,0006 \text{ м}^2 \quad (4.6)$$

де S – площа по зовнішньому діаметру D витка шнека, м²;

s – площа по внутрішньому діаметру d витка шнека ($\varnothing$ вала), м²;

p – крок (проміжок між витками), м;

n – швидкість обертання, об/хв.;

I – коефіцієнт наповнення желоба субстанцією (пір'ям) (приблизно 95%);

s_w – питома вага субстанції, кг/м³, для пір'я ≈ 15 кг/м³.

4.2.2 Розрахунок потужності електричних нагрівачів для нагріву реакційної зони шнекового електромеханічного гідролізера. Активна частина двошнекового електромеханічного гідролізера містить корпус у вигляді суміщених труб, як показано на рис.4.3. Довжина труб 1500 мм, товщина стінок – 10 мм. Всередині кожної порожнини труби розташований шнек, показаний на рис.4.2.

1. Зона нагріву двошнекового електромеханічного гідролізера по довжині складається з ділянки ущільнюючих конусів l_c і реакційної зони l_r та займає в цілому ділянку довжиною:

$$L_r = l_c + l_r = 0,095 + 0,721 = 0,816 \text{ м} \quad (4.7)$$

Для спрощення розрахунку приймаємо, що необхідна потужність нагріву в зоні вікна вивантаження кератиновмісного матеріала еквівалентна потужності нагріву маси матеріалу суміщених труб, який видалено при їх механічній обробці.

2. Маса суміщених труб з конструкційної сталі ділянки ущільнюючих конусів і реакційної зони :

$$M_{\text{тр}} = 2L_r \cdot \gamma \left(\frac{\pi d_1^2}{4} - \frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{1}{4} \left(\frac{\pi d_1^2}{4} - \frac{\pi d_2^2}{4} \right) \right) = 2 \cdot 0,816 \cdot 7860 \left(\frac{\pi 0,081^2}{4} - \frac{\pi 0,059^2}{4} - \frac{1}{4} \left(\frac{\pi 0,081^2}{4} - \frac{\pi 0,059^2}{4} \right) \right) = 23,731 \text{ kg} \quad (4.8)$$

3. Маса шнека з конструкційної сталі для ділянки ущільнюючих конусів і реакційної зони

$$M_{\text{шн}} = \gamma \left(L_r \cdot \frac{\pi d_{\text{в.шн}}^2}{4} + n_w (\pi D_{\text{ср}} s_w) \right) = 7860 \left(0,816 \frac{\pi 0,027^2}{4} + 14 (3,14 \cdot 0,039 \cdot 0,00003) \right) = 4,1 \text{ kg} \quad (4.9)$$

4. Маса пухо-пір'яної сировини в реакційній зоні двошнекового електромеханічного гідролізера

$$M_{\text{пір}} = \gamma_{\text{пір}} \cdot n_w (\pi D_{\text{ср}} s_{\text{пір}}) = 1320 \cdot 14 (3,14 \cdot 0,39 \cdot 0,00003) = 0,679 \text{ kg} \quad (4.10)$$

Активна корисна потужність, що передається на реакційну зону двошнекового електромеханічного гідролізера при тривалості нагріву 120 с:

$$P_{\text{кор}} = \left(\frac{c_{\text{мет}} \cdot M_{\text{мет}}}{\tau} + \frac{c_{\text{пір}} \cdot M_{\text{пір}}}{\tau} \right) (t_{\text{н}} - t_0) =$$

$$(490 \cdot (23,731 + 4,1) + 1750 \cdot 0,679) \cdot (250 - 20) / 120 =$$

$$(13637,19 + 1188,25) \cdot 230 / 120 = 28415 \text{ Вт} \quad (4.11)$$

Якщо час нагріву брати 900 с (15 хв.), то $P_{\text{кор}} = 3788 \text{ Вт}$. При тривалості нагріву 600 с – $P_{\text{кор}} = 7104 \text{ Вт}$. Довжина зони можливого розташування нагрівачів за винятком ділянок вивантаження і підшипникових вузлів $0,816 - 0,08 - 0,035 = 0,701 \text{ м}$. Основний нагрів сировини до температури 180-260 °С

здійснюється за допомогою хомутового кільцевого міканітового нагрівального елемента ЕНКм або стрічкового нагрівача ЕНГЛУ-400.

Виходячи з конструкції і розмірів одношнекового гідролізера активна корисна потужність, що передається на реакційну зону складає 1650 Вт. Вплив магнітним полем і частковий підігрів в ущільнюючій зоні одношнекового гідролізера здійснюється за допомогою однофазного статора БЦПЕ 0,5-40У потужністю 720 Вт з пусковими конденсатором.

Висновки до розділу 4

Для експериментальної моделі двошнекового електромеханічного гідролізера запропоновано оригінальну конструкцію та принципові електричні схеми. Цей апарат поєднує транспортні функції, змішування, мікропобрібнення, гідроліз кератину, а також швидкий високотемпературний гідроліз перо-пухової сировини в тонкому шарі під дією магнітного поля.

Підготовка пухо-пир'яної сировини передбачає її деаерацію за допомогою спеціальної камери з ресивером та двох постійних магнітів, які створюють високонапружене магнітне поле. Це забезпечує витягування парамагнітного кисню. У зоні ущільнення робочої частини шнекового механізму практично повністю усуваються порожнини в суміші. Завдяки видаленню кисню запобігається небажане пароутворення, а також виключається окислення, яке могло б знизити якість кінцевого продукту.

Стосовно випробувань — розроблено спеціальну методику для дослідної моделі двошнекового гідролізера. Її мета — перевірити конструкційно-технологічні параметри модифікацій цього пристрою для переробки кератиновмісної сировини, а також встановити його відповідність вимогам Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) та Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС).

РОЗДІЛ 5

ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ І БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В ТЕХНОЛОГІЯХ ПЕРЕРОБКИ КЕРАТИНОВМІСНОЇ СИРОВИНИ

Охорона праці та навколишнього середовища - свідоме ставлення суб'єкта соціальної діяльності до вимог соціальної необхідності, громадянського обов'язку, соціальних завдань, норм і цінностей, розуміння наслідків діяльності для певних соціальних груп і особистостей, для соціального прогресу суспільства.

У даному розділі розглядаються безпека та екологічність лабораторії, де досліджується та перевіряється електропривод живильника сушильного барабана. Тут буде розглянуто необхідне забезпечення умов праці в лабораторії (санітарно-гігієнічні умови, захист від негативних виробничих факторів, забезпечення пожежної безпеки) відповідно до чинних нормативних документів, а також екологічної безпеки [12].

Безпека включає вплив небезпечних і шкідливих факторів, їх аналіз і заходи їх профілактики.

5.1. Опис технологічного процесу та робочого місця

Технологічний процес дослідження та перевірки електроприводу вузла подачі перо-пухової сировини:

1. Ознайомлення та аналіз літератури (статті, дисертації, навчальні посібники та монографії) з даної тематики;
2. Дослідження роботи системи електроприводу у лабораторії;
3. Вибір необхідного обладнання;
4. Розрахунок регуляторів;
5. Створення моделі електроприводу та аналіз його роботи;
6. Лабораторне випробування регуляторів на математичній моделі системи ПЧ – АТ (перетворювач частоти – асинхронний двигун);

7. Аналіз отриманих результатів

В описаному технологічному процесі основним обладнанням є:

1. Монітор;
2. Комп'ютер;
3. Джерело напруги, необхідне роботи устаткування;
4. Досліджуваний асинхронний двигун і перетворювач частоти;
5. Шафа діагностики та управління;

5.2. Аналіз небезпечних виробничих факторів та обґрунтування заходів щодо їх усунення

Проведемо аналіз небезпечних виробничих факторів у вищеописаному технологічному процесі дослідження та перевірки електроприводу. Лабораторія в якій проводиться дослідження електричного приводу, небезпека ураження електричним струмом відноситься до приміщень без підвищеної безпеки. Оскільки в цьому приміщенні немає умов, що створюють підвищену або особливу небезпеку, такі як: вогкість; струмопровідний пил; висока температура; можливість одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, що мають з'єднання із землею, технологічних апаратів, механізмів тощо, з одного боку, і до металевих корпусів електрообладнання (відкритих провідних частин), з іншого; хімічно активне чи органічне середовище.

Основним небезпечним фактором є можливість ураження людини електричним струмом [11], оскільки робота проводиться з робочими електричними установками, зокрема двигунами. Для зниження рівня безпеки проводиться заземлення електроустановок та повне або часткове загородження струмопровідних частин. Дані операції повинні проводитись на підставі. Наступна небезпека полягає в тому, що робота проводиться з робочим двигуном, відповідно, вал двигуна знаходиться в русі, що може призвести до механічних пошкоджень частин тіла людини. Однак, завдяки

конструкції двигунів, небезпеку становлять лише вихідні кінці валів та місця з'єднань. Для зниження ризику встановлюють кожухи або захисні екрани в місцях відкритих механічних частин, що рухаються.

5.3. Аналіз шкідливих виробничих факторів та обґрунтування заходів щодо їх усунення

Частина технологічного процесу дослідження та перевірки електроприводу живильника сушильного барабана, а саме п.2, подані у розділі 4.1. заснована на роботі з двигуном, який, у свою чергу, є джерелом підвищеного рівня шуму, що є шкідливим фактором виробничого середовища. Щоб зменшити вплив шуму, можна застосовувати різні заходи, такі як: заміна підшипників кочення на підшипники-ковзання, перевірка та своєчасна заміна мастильних матеріалів у підшипників. Але такі заходи надто затратні та трудомісткі. Також є й інші способи вирішення цієї проблеми. Можна використовувати різні огорожі зі звукопоглинаючих матеріалів та окремих частин установки зниження рівня шуму. Можливе також закриття звукоізолюючими кожухами всієї установки, але це може спричинити труднощі при роботі з обладнанням.

Наступний шкідливий фактор – недолік природного світла, при роботі в умовах недостатньої освітленості, пов'язаної з часом доби та погодними умовами.

Іншим шкідливим фактором є знижена рухливість повітря, пов'язана з поганою вентиляцією лабораторії, у зв'язку з відсутністю вентиляційної системи.

Наслідком попереднього шкідливого фактора та наявності тепловіддаючих при роботі елементів установки буде підвищена температура повітря робочої зони, яка згубно впливає на стан людини.

Для вирішення проблем низької рухливості повітря та підвищеної температури робочої зони необхідно встановити вентиляційну систему.

Вентиляція дозволяє здійснювати регульований повітрообмін, що забезпечує нормальні санітарно-гігієнічні умови у приміщеннях.

Також шкідливим фактором є підвищений рівень вібрації, який виникає під час роботи досліджуваного двигуна при навантаженнях вище за номінальну. Для уникнення впливу вібрацій на людину необхідно провести заходи на підставі, а саме жорстка фіксація робочих механізмів на своїх місцях з використанням віброгасних матеріалів.

5.4. Безпека у надзвичайних ситуаціях

Найбільш ймовірним надзвичайними ситуаціями при дослідженні та перевірці електроприводу живильника сушильного барабана є пожежа або вибух на робочому місці [13]. Потенційне виникнення пожежі пов'язане з можливим накопиченням струмоведучого пилу всередині комп'ютера, що може призвести до короткого замикання, займання пилу і, якщо не буде вжито жодних заходів, поширення пожежі. До займання матеріалів може призвести також наявність елементів, що нагріваються в ході роботи установки. Достатньо стежити за тим, щоб поблизу установки під час її роботи не знаходилися легкозаймисті матеріали та речовини.

У зв'язку з можливою загрозою виникнення пожежі було розроблено план дій:

1. У разі виявлення загоряння необхідно повідомити керівника та спробувати загасити вогнище загоряння самотужки за допомогою засобів первинного пожежогасіння такими як: вогнегасник (порошковий, вуглекислотний);

2. Якщо загасити вогнище загоряння не вдається, привести в дію ручний пожежний сповіщувач;

3. негайно повідомити про надзвичайну ситуацію в пожежну охорону за телефоном 01 (стільниковий 010), назвати адресу об'єкта, місце та причини виникнення пожежі;

4. Вжити заходів щодо евакуації людей, матеріальних цінностей; розпочати гасіння пожежі, відключивши електроенергію;

5. Зустріти підрозділи пожежної охорони та, за необхідності, надати допомогу при виборі найкращого шляху для підходу до осередку пожежі.

Виникнення інших видів НС мало ймовірно, відповідно до розгляду не підлягають.

ВИСНОВКИ

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

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 пір'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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. Coward-Kelly, G., Agbogbo, F.K., Holtzaple, M.T.: Lime treatment of keratinous materials for the generation of highly digestible animal feed: 2. Animal hair. *Bioresour. Technol.* 97, 1344–1352 (2006)
3. 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)
4. 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.
5. 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
6. 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
7. 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.
8. Havryliak, V., & Mykhaliuk, V. (2020). The comparative analysis of the methods for keratin extraction from sheep wool and human hair. *Біол. Тварин*, 22, 9-14.
9. 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.
9. Біоматеріали у мікро- та наноелектроніці [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальностей 161 «Хімічні технології та

інженерія» і 176 «Мікро- та наносистемна техніка» / Барбаш В.А., Ключко Н.П., Копач В.Р.; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,96 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 327 с.).

10. Петрушин В.С., Рябінін С.В., Якимець А.М. Програмний продукт "DIMASDrive". Програма аналізу роботи, вибору та проектування асинхронних короткозамкнених двигунів систем регульованого електроприводу (свідectво про реєстрацію програми ПА№4065). - К.: Державний департамент інтелектуальної власності, 26.03.2001.

11. 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>

12. 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

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

14. Спосіб виготовлення кормової білкової добавки з відходів сировини тваринного походження та пристрій для здійснення способу. Патент 61868, A23K1/10, A23J1/10, A23N17/00, B29C47/38, заявник і патентовласник ТОВ "ТЕХНОЦЕНТР ТЕХАГРО-РЕСУРС". - № 2003065404, заявл. 10.06.2003, опубл. 17.11.2003, Бюл. №11.15.

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

16. Електрична шнекова установка для виготовлення протеїнової кормової добавки з пухо-перової сировини. Патент 147388, МПК (2021.01), A23K 10/00, A23K 10/26 (2016.01), B03C 1/02 (2006.01), B03C 1/23 (2006.01), B03C 3/36 (2006.01), заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. - № u202007097; заявл. 05.11.2020; опубл. 05.05.2021, Бюл. № 18.

17. 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
18. 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
19. 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
20. I. H. Panasenko, P. I. Lokes, S. V. Aranchiy, “Recommendations from convert feather and downy raw material in protein food”, Poltava, 26 (in Ukrainian)
21. 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>
22. 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>
23. 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>
24. 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>

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

26. 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.

27. 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.

28. 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.

29. 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>

30. 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