

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Шосткинський інститут
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Георгій Худолей

_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»,
освітньо-професійної програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

на тему: Система управління технологічної лінії виробництва картопляного крохмалю_____

Здобувача групи СУЗ-01ш _____ Воронець Роман Валентинович_____

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Роман Воронець_____

Керівник ст.викладач, к.т.н _____ Георгій Худолей_____

Консультант¹⁾ _____

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КАФЕДРА СИСТЕМОТЕХНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри системотехніки та
інформаційних технологій

_____ Г. М. Худолей

« 16 » квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на бакалаврську роботу

студент Воронець Роман Валентинович

1. Тема проекту Система управління технологічної лінії виробництва картопляного крохмалю

Затверджено наказом директора інституту
№ 24-ОД від « 15 » квітня 2024 р.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи «01» червня 2024 р.

3. Вихідні дані до виконання роботи:

_ - завдання кафедри _____

4. Зміст пояснювальної записки:

4.1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта управління.

4.2 Вибір каналів управління, сигналізації та блокування.

4.3 Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту та алгоритмів управління.

4.4 Розрахункова частина.

5. Перелік графічних матеріалів:

5.1. Функціональна схема автоматизації.

7. Календарний план:

№ етапу	Зміст етапу роботи	Строк виконання (початок-кінець)
1	Аналіз завдання кафедри. Підбір та аналіз джерел інформації. Відбір аналогів та прототипів Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта керування.	24.04.2024 - 29.04.2024
2	Вибір каналів управління, сигналізації та блокування. Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту, вибір алгоритмів управління. Схема автоматизації функціональна. Схеми електричні сигналізації.	30.04.2024 - 06.05.2024
3	Виконання розрахункової частини.	07.05.2024- 11.05.2024
4	Технічне оформлення роботи. Здача роботи керівнику.	12.05.2024 - 15.06.2024

8. Дата видачі завдання 17 квітня 2024 року.

Керівник роботи _____ ст. викладач, к.т.н. _____ Худолей Г.М.
вчені ступень та звання, посада Підпис Прізвище І.П.

Завдання до виконання прийняв:

Студент групи СУз - 01ш _____ Воронець Р.В.
Підпис Прізвище І.П.

РЕФЕРАТ

Воронець Роман Валентинович. Система управління технологічної лінії виробництва картопляного крохмалю. Бакалаврська робота. Шосткинський інститут Сумського державного університету. Шостка, 2024 рік.

Бакалаврська робота містить 54 аркушів пояснювальної записки, з урахуванням 51 рисунок 17 таблиць; 1 креслення.

У цій дипломній роботі було здійснено модернізацію системи управління технологічним процесом виробництва крохмалю з акцентом на автоматизацію. Було проведено детальний конструктивно-технологічний аналіз процесу виробництва крохмалю, визначено ключові параметри керування та встановлено канали контролю і сигналізації.

На основі аналізу сучасних тенденцій в автоматизації харчових виробництв, було обгрунтовано вибір передових засобів автоматизації та розроблено функціональну схему автоматизації виробництва крохмалю. Ця схема враховує специфіку технологічного процесу та забезпечує оптимальне керування на всіх етапах виробництва.

Також було проведено моделювання роботи системи управління в середовищі MATLAB/Simulink, що дозволило оцінити ефективність запропонованих рішень та провести їх оптимізацію. Результати моделювання показали значне поліпшення показників якості управління процесом виробництва крохмалю порівняно з існуючими системами.

Ключові слова: системи автоматизованого керування, технологічний процес, виробництво крохмалю, MatLab, налаштування регуляторів, параметри управління, датчики, ідентифікація параметрів регулятора.

SUMMARY

Roman Valentinovich Voronets. The control system of the potato starch production line. Bachelor work. Shostkin Institute of Sumy State University. Shostka, 2024.

The bachelor thesis contains 54 sheets of explanatory notes, including 51 figures and 17 tables; 1 drawing.

In this thesis, the modernization of the management system of the technological process of starch production was carried out with an emphasis on automation. A detailed structural and technological analysis of the starch production process was carried out, key control parameters were determined and control and signaling channels were established.

Based on the analysis of modern trends in the automation of food production, the choice of advanced automation tools was substantiated and a functional scheme for the automation of starch

production was developed. This scheme takes into account the specifics of the technological process and ensures optimal management at all stages of production.

Simulation of the operation of the control system was also carried out in the MATLAB/Simulink environment, which made it possible to evaluate the effectiveness of the proposed solutions and carry out their optimization. The simulation results showed a significant improvement in the quality indicators of the management of the starch production process compared to the existing systems.

Keywords: automated control systems, technological process, starch production, MatLab, regulator settings, control parameters, sensors, identification of regulator parameters.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	10
1.1 Опис технологічного обладнання.....	10
1.2 Опис процесу виробництва	14
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	20
РОЗДІЛ 3. КАНАЛИ КОНТРОЛЮ ТА КОНТУРИ КЕРУВАННЯ.....	22
3.1 Канали контролю.....	22
3.1.1 Канал контролю забиття фільтра	22
3.1.2 Канал контролю за тиском, температурю та рівнем у накопичувачах.....	22
3.1.3 Канал контролю тиску в системі гідроциклонів.....	23
3.2 Контури керування.....	23
3.2.1 Контур керування терками	23
3.2.2 Контур керування рівнем у накопичувачах	24
3.2.3 Контур керування гідроциклонами.....	24
3.2.4 Контур керування осушкою крохмалю	24
РОЗДІЛ 4. ПІДБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	26
4.1 Вибір ПЛК, модулів вх/вих сигналів та елементів автоматизації	26
4.2 Вибір давачів.....	34
4.3 Вибір виконавчих механізмів.....	39
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	44
5.1 Моделювання у середовищі MatLab процесу сушки крохмалю.....	44
5.1.1 Структурна ідентифікація.....	45
5.1.2 Параметрична ідентифікація	49
5.2 Розробка регулятора у MatLab для процесу сушки крохмалю	54
5.2.1 Підбір типу регулятора та його параметрів	54
ВИСНОВОК	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61
ДОДАТОК А.....	62

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

САК – Система автоматичного керування;

ВМ – виконавчий механізм;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

ЩК – щит керування;

ВСТУП

Виробництво картопляного крохмалю є важливою галуззю харчової промисловості України та світу. Попит на цей продукт залишається стабільним завдяки його широкому застосуванню у різноманітних галузях, таких як хлібопекарська, кондитерська, а також у виробництві паперу, текстилю та клеїв. Проте, існуючі технології виробництва картопляного крохмалю часто є застарілими та неефективними, що призводить до значних втрат сировини, високих витрат енергії та води, а також утворення великої кількості відходів.

Основними тенденціями у розвитку цієї галузі є впровадження сучасних ресурсощадних та екологічно чистих технологій, автоматизація процесів, підвищення якості продукції та розширення асортименту. Особлива увага приділяється зменшенню споживання води та енергії, а також переробці відходів та їх повторному використанню.

Розвиток виробництва картопляного крохмалю має важливе значення для економіки України, оскільки забезпечує потреби харчової, хімічної та інших галузей промисловості у цьому цінному продукті. Крім того, ця галузь створює робочі місця та сприяє розвитку сільського господарства, забезпечуючи ринок збуту для картоплі.

Основними завданнями виробництва картопляного крохмалю є підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції, економія матеріальних, трудових та енергетичних ресурсів, а також забезпечення вимог щодо охорони навколишнього середовища. Вирішення цих завдань можливе за рахунок впровадження або вдосконалення систем управління виробничими процесами.

Автоматизовані системи управління дозволяють оптимізувати технологічний процес, забезпечуючи точне дозування компонентів, контроль температурних режимів, тривалості операцій та інших важливих параметрів. Це призводить до підвищення виходу продукту, зменшення втрат сировини та енергоресурсів, а також покращення якості кінцевого продукту.

Крім того, системи управління можуть забезпечувати ефективне очищення та повторне використання води, а також переробку відходів, зменшуючи таким чином навантаження на навколишнє середовище.

На сучасному етапі розвитку виробництва картопляного крохмалю широко використовуються різноманітні методи та засоби автоматизації, такі як програмовані логічні контролери (ПЛК), розподілені системи управління (PCU), системи збору та обробки даних (SCADA), а також різноманітні датчики та виконавчі механізми.

Вибір конкретних технічних рішень залежить від масштабів виробництва, вимог до якості продукції, енергоефективності та екологічності процесів. Порівняльна характеристика існуючих

систем автоматизації може бути проведена за такими критеріями, як ефективність, надійність, універсальність, ергономічність та зручність людино-машинного інтерфейсу.

Важливим аспектом є забезпечення надійного функціонування та ефективного використання систем управління. Для цього необхідно правильно обирати технічні засоби, враховуючи їх сучасність, характеристики вимірюваних та регульованих змінних, а також особливості об'єкта управління.

Призначенням модернізованої системи управління технологічним процесом виробництва картопляного крохмалю є: підвищення ритмічності роботи та продуктивності виробництва за рахунок оптимізації технологічних параметрів та синхронізації окремих операцій; покращення якості регулювання основних технологічних параметрів, таких як температура, тиск, витрати, рівні та ін., що забезпечить стабільність процесу та якість кінцевого продукту; зменшення відхилень від норм технологічного регламенту шляхом контролю та своєчасної корекції відхилень; заміна морально та фізично застарілих засобів автоматизації на сучасні, більш надійні та ефективні рішення; реалізація сучасних принципів управління, таких як передбачуване керування, адаптивне регулювання, діагностика та прогнозування стану обладнання.

Метою даної роботи є модернізація системи управління технологічним процесом виробництва картопляного крохмалю для підвищення ефективності виробництва, поліпшення якості продукції, а також зменшення споживання ресурсів та впливу на навколишнє середовище.

Завданням цього проекту є розробка системи управління технологічним процесом виробництва картопляного крохмалю. Робота виконується на основі завдання кафедри системотехніки та інформаційних технологій Шосткинського інституту СумДУ.

Результати даної роботи можуть бути використані для модернізації існуючих та проектування нових систем управління на підприємствах з виробництва картопляного крохмалю. Впровадження розробленої системи управління дозволить підвищити ефективність виробництва, поліпшити якість продукції, знизити споживання ресурсів та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Перспективами подальшого розвитку є інтеграція розробленої системи з системами вищого рівня управління підприємством, а також розширення функціоналу для забезпечення повної автоматизації виробничого циклу.

Основний зміст роботи викладено у чотирьох розділах, де представлені: огляд сучасного стану виробництва картопляного крохмалю та аналіз існуючих методів і засобів автоматизації, обґрунтування вибору систем управління та розробка функціональної схеми автоматизації, розрахунок та вибір технічних засобів автоматизації, а також розробка алгоритмів управління та програмного забезпечення системи управління технологічним процесом виробництва картопляного крохмалю.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Крохмаль, який має формулу $(C_6H_{10}O_5)_n$, є цінним полісахаридом рослинного походження, що знаходить широке застосування в різних галузях промисловості. Окрім використання у харчовій індустрії для виробництва кондитерських виробів, глюкози, модифікованих крохмалів та патоки, він також відіграє важливу роль у текстильній, паперовій та інших галузях. Крім того, крохмаль застосовується в лабораторній практиці як індикатор у йодометричних аналізах.

Крохмаль міститься в клітинах рослинних тканин у формі крохмальних зерен різноманітної форми. Для отримання сирого крохмалю основною метою є вилучення цих зерен та їх очищення від домішок. Це досягається руйнуванням клітинних стінок рослинної сировини, що часто здійснюється механічним шляхом, хоча можливі й інші види впливу, наприклад, тепловий.

Крохмаль легко змінює свої фізико-хімічні властивості під дією теплової обробки, хімічних реагентів та амілолітичних ферментів. Ці процеси супроводжуються деструкцією полімерних молекул крохмалю, що складаються з амілози й амілопектину. На основі цих процесів отримують модифіковані крохмалі та інші крохмалепродукти: патоку, декстрини, глюкозу.

Під час нагрівання у воді крохмальні зерна руйнуються з утворенням клейстеру. Клейстеризація крохмалю є складним процесом, що проходить у три основні стадії. Спочатку крохмальні зерна набухають, приєднуючи невелику кількість води. Зі збільшенням температури приєднується більша кількість води, що супроводжується значним набряканням зерен та збільшенням їхнього об'єму в сотні разів, а також підвищенням в'язкості розчину. Ця стадія є незворотною. Набрякання крохмалю відбувається внаслідок розриву водневих зв'язків і гідратації макромолекул полісахаридів. На останній стадії розчинні полісахариди екстрагуються водою, зерна втрачають форму та перетворюються на структури, суспендовані в розчині. Клейстеризація картопляного крохмалю відбувається при температурі в діапазоні 55-68 °C. [1]

1.1 Опис технологічного обладнання

Процес виробництва картопляного крохмалю розпочинається з подачі картоплі на виробничу лінію за допомогою гідро-транспортера. На цьому етапі частково видаляються легкі домішки, пісок та земля. Далі картоплю ретельно мийуть у спеціальних мийних машинах комбінованого типу протягом 10-14 хвилин.

Наступним кроком є подрібнення картоплі на машинних терках, принцип роботи яких полягає в стиранні бульб поверхнею, що складається з пилок з дрібними зубцями. Подрібнення

відбувається двічі: спочатку використовують пилки з висотою зубів 1,5-1,7 мм, а під час повторного подрібнення (перетирання) - 1,0 мм.

Після машинних терок утворюється картопляна кашка, яка є сумішшю підірваних клітинних стінок, крохмальних зерен та картопляного соку. Важливим завданням на цьому етапі є якнайшвидше виділення соку з кашки при мінімальному його розведенні. Контакт соку з крохмалем негативно впливає на якість кінцевого продукту, спричиняючи потемніння крохмалю через окиснення тирозину, зниження в'язкості крохмального клейстеру, а також сприяє утворенню піни, слизу та інших небажаних явищ.

Після відділення картопляного соку на осадових центрифугах, кашку направляють на ситові апарати або гідроциклонні установки, де відбувається відокремлення та промивання великої і дрібної мезги, а також осадження та промивання крохмалю. Отримана крохмальна суспензія має концентрацію 12-14% і містить певну кількість дрібної мезги (4-8%), водорозчинних речовин (0,1-0,5%) та сильно розведеного картопляного соку. Тому її піддають двоступінчастому рафінуванню, після чого крохмальну суспензію з концентрацією 7-9% подають на пристрій для видалення піни та на піскові гідроциклони. Наступними етапами є зневоднення та сушіння крохмалю.

Виробництво крохмалю є одним з найдавніших способів переробки картоплі. Процес виділення крохмалю з подрібненої маси бульб ґрунтується на тому, що його питома вага більша за воду в 1,6 рази, і він не розчиняється у воді, внаслідок чого крохмальні зерна осідають у суспензії подрібненої тканини бульб. [1]

Метою технологічного процесу є максимальне вилучення чистого від домішок крохмалю та повне використання сухих речовин картоплі. Для досягнення високих техніко-економічних показників необхідно переробляти сорти картоплі з підвищеним вмістом крохмалю.

Технологія виробництва картопляного крохмалю може різнитися технологічними схемами, але загалом включає такі стадії: зберігання сировини, підготовку сировини до переробки, подрібнення, видалення картопляного соку, видалення мезги, очищення крохмалю та утилізацію соку та мезги.

Для виробництва крохмалю використовують бульби технічних сортів з підвищеним вмістом крохмалю, а також механічно пошкоджені бульби столових сортів. Після миття, подрібнення та виділення крохмального молочка з м'язги крізь сита, його відстоюють чи центрифугують, промивають та сушать. Сушіння відбувається у сушарках за температури 60°C до досягнення відносної вологості 18-20%. Далі крохмаль пакують у подвійні мішки або багатощарові паперові чи плівкові вкладиші.

Зберігають готовий крохмаль у провітрюваних сховищах без сторонніх запахів з відносною вологістю повітря 75%, вільних від шкідників хлібних запасів. Дотримання належних умов зберігання є важливим для запобігання погіршенню властивостей крохмалю. [1]

Лінія виробництва картопляного крохмалю (рис. 1.1) складається з низки технологічних об'єктів і обладнання, необхідних для реалізації різних стадій процесу:

1. Транспортер і бункер для подачі та зважування картоплі.
2. Мийна машина для видалення забруднень з поверхні бульб.
3. Терочна машина або подрібнювач для тонкого розмелювання картоплі на кашку.
4. Екстрактор (відстійник або центрифуга) для виділення крохмальної суспензії з картопляної кашки.
5. Ситові апарати або гідроциклони для відділення і промивання мезги.
6. Відстійники або центрифуги для рафінування крохмального молочка.
7. Промивні центрифуги або гідроциклони для остаточної промивки крохмалю.
8. Сушарка для зневоднення та сушіння крохмального порошку.
9. Системи трубопроводів, насосів та ємностей для транспортування різних потоків.
10. Допоміжне обладнання: бункери, дозатори, фільтри, вентилятори тощо. [2]

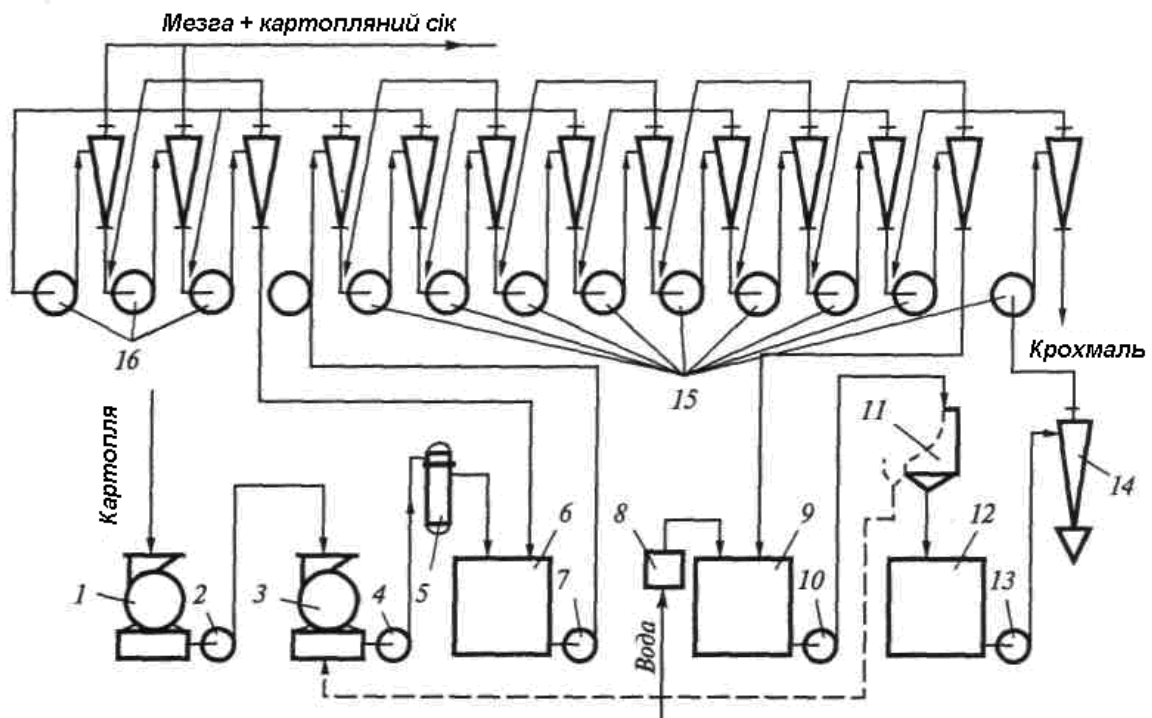


Рисунок 1.1 – Технологічна схема лінії виробництва картопляного крохмалю, де 1 – терка першого помолу; 2 – насос; 3 – терка другого помолу; 4- насос; 5 – фільтр; 6 – збірник-накопичувач; 7 – насос; 8 – фільтр; 9 – збірник; 10 – насос; 11 – рафіноване сито; 12 – збірник; 13 – насос; 14 – гідроциклон; 15 – станція гідроциклонів; 16 – знекрохмалювальні гідроциклони

Крім того, лінія виробництва містить елементи автоматизації та контролю процесу: датчики, контролери, панелі управління та людино-машинний інтерфейс.

Залежно від потужності підприємства та застосовуваної технології, конфігурація та кількість обладнання може варіюватися. Але основні технологічні об'єкти залишаються незмінними.

Далі отриманий сирий крохмаль, необхідно висушити. Для цього існує установка осушки крохмалю (рис. 1.2).

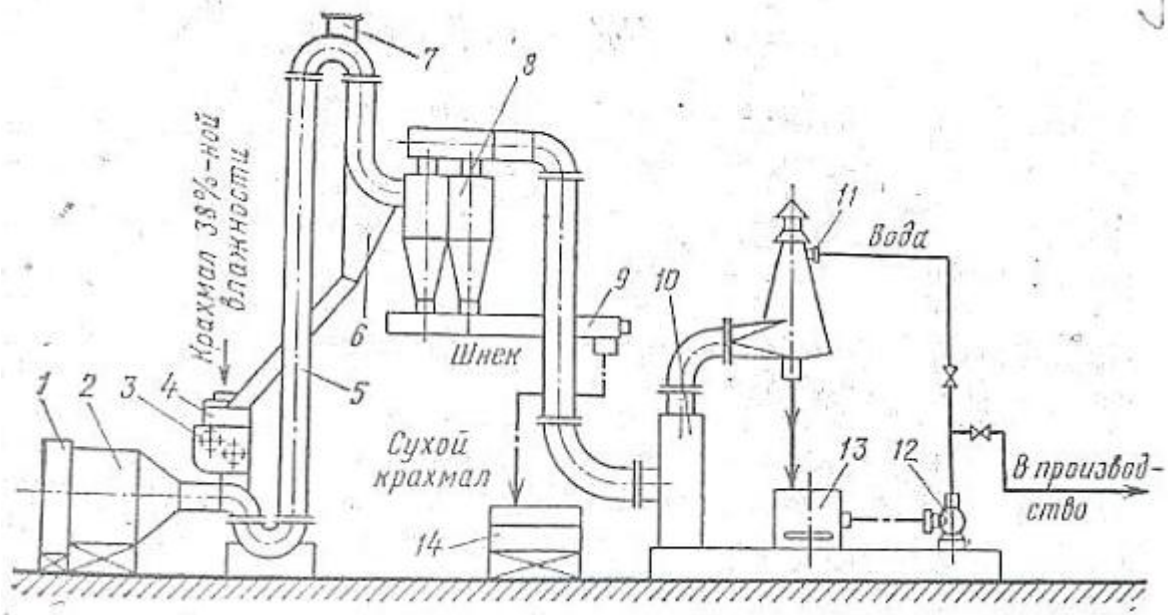


Рисунок 1.2 – Установка осушки крохмалю,

де 1 – фільтр; 2 – калорифер; 3 – розпушувач; 4- змішувач-живильник; 5 – труба; 6 – кишеня; 7 – клапан; 8 – циклон; 9 – шнек; 10 – вентилятор; 11 – скрубер; 12 – насос; 13 – збирач.

Крохмальна суспензія або сирий крохмаль не придатні для тривалого зберігання, особливо в теплу пору року. Тому їх необхідно негайно спрямовувати на подальшу переробку.

Висушений та упакований крохмаль має значно кращі характеристики для зберігання, транспортування та використання споживачем.

Однак крохмаль відзначається нестабільністю та здатністю легко змінювати свої фізико-хімічні властивості під впливом інтенсивної термічної обробки. У зв'язку з цим технологічне обладнання повинно працювати таким чином, щоб отримати крохмаль з необхідним рівнем вологості без перегріву крохмальних зерен.

Неналежне очищення отриманого крохмалю може погіршити процес вилучення вологи на вакуумних фільтрах або сушильних центрифугах.

Сушіння крохмалю є складним технологічним процесом, який повинен забезпечити стабілізацію властивостей готового продукту для тривалого зберігання.

Під час сушіння крохмалю спочатку видаляється вільна волога, потім волога переміщується з центру крохмальних зерен до їх поверхні, після чого переходить до сушильного агента (нагрітого повітря), який виносить вологу з сушарки.

Особливості конструкції та роботи пневматичних сушарок, їх автоматизація дозволяють нагрівати повітря до високих температур, таких як 140-150°C.

Розділення сухого крохмалю та повітряно-парової суміші здійснюється в циклонах. Для остаточного очищення повітря від крохмалю застосовується мокрий спосіб у скрубєрі.

Висушений крохмаль може містити деяку кількість грудочок, які утворюються переважно при переробці неякісної сировини або при переробці сирого крохмалю. Тому крохмаль піддають додатковому очищенню просіюванням на бурат або плоских ситах. Картопляний крохмаль просіюють через капронову тканину №55.

Після просіювання крохмаль транспортується пневматичним способом до бункерів або силосних банок, а звідти - до пакувального відділення. [2]

1.2 Опис процесу виробництва

Процес переробки картоплі на крохмаль складається з низки ключових етапів:

Підготовча стадія - ретельне миття та зважування надходить сировини для контролю кількості та якості.

Стадія подрібнення - тонке розмелювання бульб картоплі з метою руйнування клітинних стінок та отримання однорідної картопляної маси, званої кашкою.

Екстракція крохмалю - виділення вільних крохмальних зерен з кашки шляхом фільтрації, центрифугування або відстоювання.

Видалення мезги - відокремлення та промивання волокнистих решток рослинної тканини (мезги) від крохмальної суспензії.

Рафінування - очищення крохмального молочка від розчинних домішок, часток мезги та залишків соку за допомогою двоступеневого процесу.

Промивна стадія - ретельна промивка відділеного крохмалю для видалення будь-яких забруднюючих речовин.

На сучасних підприємствах впроваджується нова технологічна схема виробництва картопляного крохмалю з використанням гідроциклонних установок. Ця технологія передбачає поділ картопляної кашки на гідроциклонах з отриманням очищеної суспензії крохмалю та суміші мезги і картопляного соку. [2]

Процес (рис. 1.3) починається з миття та подрібнення відмитої картоплі на тертках. Картопляну кашку насосами перекачують на друге подрібнення, куди також подається надситовий продукт з дугових рафінованих сит. Після другого подрібнення кашку через самоочисний фільтр змішують з густим крохмальним сходом з знекрахмалюючих гідроциклонів.

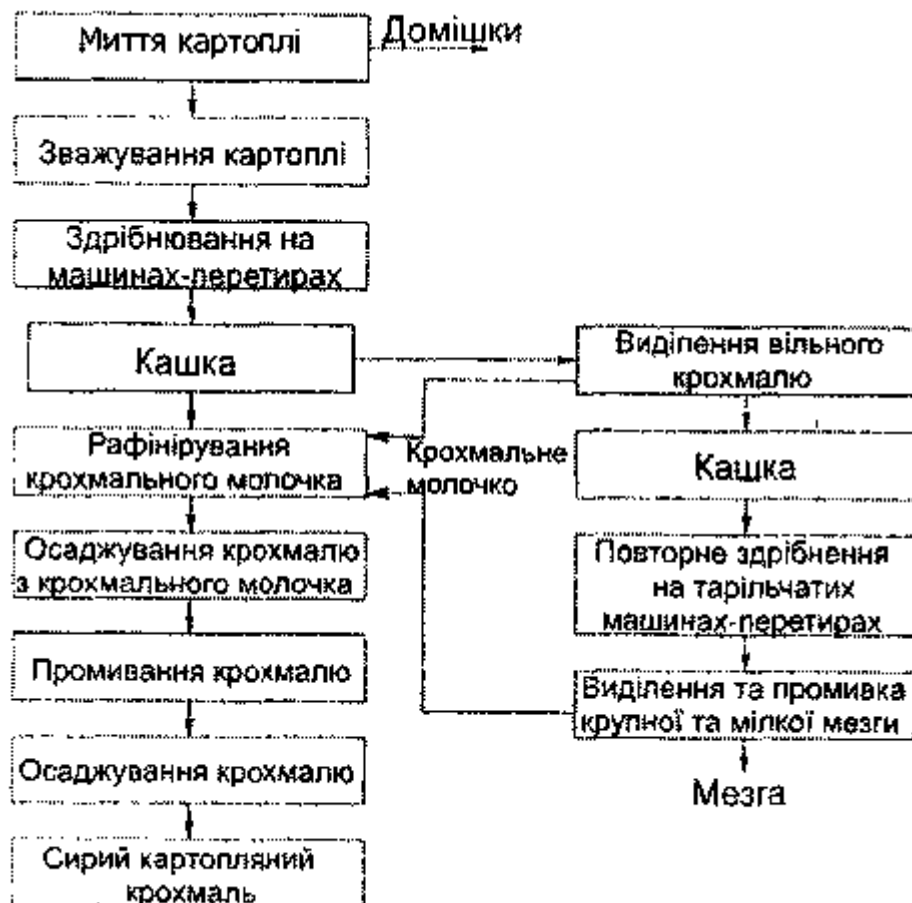


Рисунок 1.3 – Структурна схема виробництва сирого крохмалю

Розведену картопляну кашку насосом подають на станцію гідроциклонів, що включає декілька ступенів мультициклонів для виділення мезги та промивання крохмалю.

Густий крохмальний схід з передостаннього ступеня мультициклонів направляється в збірник, куди також подається свіжа вода для промивки крохмалю. Для контрольного очищення крохмалю від мезги суспензію зі збірника пропускають через рафінувальне сито. Мезгу (надситовий продукт) повертають на друге подрібнення, а суспензію збирають окремо.

В результаті обробки на гідроциклонній установці отримують суспензію крохмалю з концентрацією 37-40%, вмістом мезги 0,01-0,02% (до сухих речовин) та розчинних речовин до 0,05%. [2]

Рідкі сходи з перших ступенів гідроциклонної установки, що містять мезгу, крохмаль та картопляний сік, проходять знескрахмелювання на триступінчастій установці. Після знескрахмелювання ця суміш містить 7-9% сухих речовин, 2,1-9 г/л вільного крохмалю. Вміст сухих речовин у рідкій фазі становить 4-5%. При переробці 1 тонни картоплі одержують близько 1 тонни суміші мезги та картопляного соку, яку використовують для годівлі худоби.

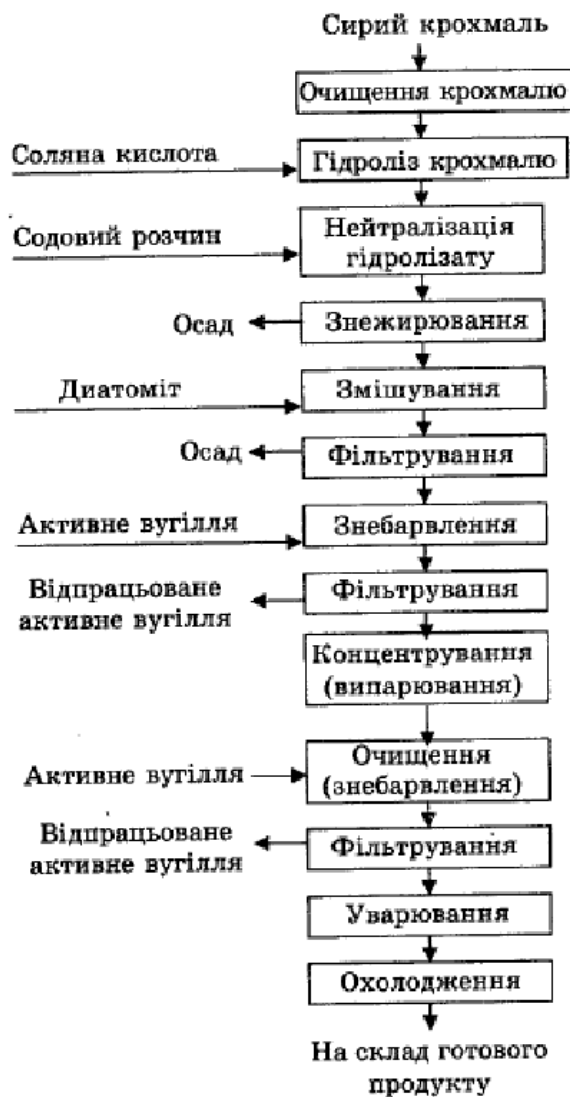


Рисунок 1.4 – Структурна схема виробництва сухого крохмалю

Процес сушіння (рис. 1.4) крохмалю в потоці повітря в пневматичних сушарках відбувається дуже швидко. Цьому сприяє розпушений стан крохмалю, який подається на сушіння, що призводить до різкого збільшення поверхні випаровування вологи з поверхні крохмальних гранул. Така особливість дозволяє використовувати в пневматичних сушарках теплоносій з високою температурою, не ризикуючи перегрівом зерен крохмалю вище 40°C, та одночасно

забезпечує ефективне випаровування вологи за рахунок високих температур сушіння крохмалю. [3]

Завдяки тому, що крохмаль подається в сушарку в розпушеному стані, його зерна мають збільшену поверхню контакту з гарячим повітрям. Це сприяє інтенсивному випаровуванню вологи з поверхні крохмальних гранул. Така особливість дозволяє застосовувати в пневматичних сушарках теплоносії з дуже високими температурами, не ризикуючи перегрівом самого крохмалю понад допустимі межі. Одночасно забезпечується ефективний процес видалення вологи з продукту завдяки високим температурам сушіння.

Пневматичні сушарки дозволяють швидко висушувати крохмаль до необхідної кінцевої вологості завдяки оптимальному поєднанню розпушеного стану продукту, що забезпечує велику поверхню випаровування, та високих температур теплоносія, які створюють сприятливі умови для інтенсивного видалення вологи. При цьому ризик перегріву крохмальних гранул мінімізується за рахунок їх розпушеного стану та майже миттєвого процесу сушіння.

Зневоднений на центрифугах сирий крохмаль потрапляє до розпушувача 3 через змішувач-живильник 4, де він змішується з гарячим повітрям, яке пройшло очищення фільтром 1 та підігрів калорифером 2. Завдяки вакууму, створеному вентилятором 10 у сушарці, крохмало-повітряна суміш піднімається по трубі 5, де відбувається сушіння крохмалю до необхідного вмісту вологи.

На верхній частині вигину сушильної труби 5 розміщено протиевибуховий клапан 7. Вздовж потоку сушильної труби недосушені крохмальні грудочки, які важчі, опускаються донизу та через карман 6 затвори повертаються до живильника 4, а суміш сухого крохмалю з повітрям направляється до циклонів 8. З циклонів крохмаль надходить до шнека 9, який подає його до бурата 14 для просіювання, після чого крохмаль йде на упаковку. [3]

Відпрацьоване повітря потрапляє до скрубера 11. Вода, що подається насосом 12, збирається у збірнику 13. При підвищенні концентрації крохмалю в суспензії до 6-8% її відкачують назад у виробництво, а до збірника 13 подають свіжу воду. У сушарці встановлено ланцюговий варіатор для приводу вала подавального шнека, що дозволяє змінювати частоту його обертання в широкому діапазоні – від 25 до 120 об/хв. Це забезпечує роботу сушарки з широким діапазоном продуктивності та можливостями регулювання теплового режиму сушки.

Розглянемо детальніше конструкцію та принцип роботи розпушувача в сушильній установці для крохмалю. Розпушувач містить коритоподібний кожух, у який вмонтовано спеціальний дисковий барабан-розпушувач. Він складається з вала, на якому розміщені диски з привареними лопатями. Лопаті на периферії чергуються під кутом 30°, що сприяє кращому розпушуванню крохмалю та підтримці його в підвішеному стані.

Вал розпушувача приводиться в обертання електродвигуном потужністю 7,5 кВт і частотою обертання ротора 980 об/хв. Повітря засмоктується в сушарку через калорифер і кожух розпушувача з атмосфери вентилятором типу ЦП-7-40 з частотою обертання 1460 об/хв. Введення повітря в кожух розпушувача та виведення крохмало-повітряної суміші здійснюється через два приварених патрубки.

Засмоктуване повітря спочатку очищується на фільтрах системи РЕКК, змонтованих перед калорифером, де воно підігрівається до температури 140°C. Калориферна установка складається з шести секцій пластинчатих калориферів типу КВБ-11, розташованих у два ряди по три калорифери. Калорифери обігріваються паром під тиском 0,8 МПа, а конденсат відводиться через конденсатовідвідник і повертається в котельню.

Нагріте повітря, що потрапляє в розпушувач, інтенсивно перемішується з розпушеним крохмалем, віддаючи тепло для нагрівання крохмалю та випаровування вологи. Потім крохмало-повітряна суміш надходить у сушильну трубу, де крохмальні зерна, перебуваючи в підвішеному стані, утворюють велику поверхню випаровування, що дозволяє швидко випаровувати вільну вологу та висушувати зерна крохмалю. Висушений крохмаль надходить у сепаратор з двома поворотними заслінками, а звідти – у батарею циклонів.

Розглянемо більш детально процес відділення та транспортування крохмалю після сушіння. Великі частинки та недосушений крохмаль повертаються з сепаратора в змішувач-живильник для повторного розпушування та досушування. Батарея циклонів складається з двох циклонів типу УЦ-38 діаметром 1000 мм з конічною поверхнею. Такі циклони мають високий коефіцієнт очищення, що сягає 99,98%. [4]

У циклонах відбувається відділення крохмалю від повітря. Сухий крохмаль із циклонів потрапляє в шнек, який подає його на просіювання. Після циклонів повітряний потік, що містить пару випареної вологи та незначну кількість крохмальної пилу, вентилятором подається в скруббер. Там відбувається вологе уловлювання крохмального пилу. Вода зі скрубера у вигляді дуже рідкої крохмальної суспензії насосом подається назад у скруббер, а при досягненні концентрації 6-8% повертається у виробництво. Очищене та охолоджене повітря зі скрубера викидається в атмосферу.

Калориферна установка сушарки складається з масляних ячеювих фільтрів та пластинчастих калориферів типу STD-3009Б, змонтованих в одному каркасі. Калорифери розміщені у два ряди по три калорифери в кожному, а фільтри - в один ряд. Така компоновка передбачена для мінімального опору установки проходу повітря. В калорифери підводиться пара під тиском до 0,8 МПа, а конденсат відводиться через конденсатовідвідник і повертається в котельню.

Змішувач-живильник зі спіралеподібною стрічковою мішалкою та живильним шнеком має об'єм 0,6 м³, що забезпечує безперервну роботу сушарки протягом 10-15 хвилин при повному заповненні крохмалем. Спіралеподібна мішалка забезпечує рівномірний розподіл крохмалю всередині ємності, обертаючись зі швидкістю 8 об/хв від електродвигуна потужністю 1,5 кВт через редуктор і ланцюгову передачу. Живильний шнек розташований у нижній бічній частині живильника так, що крохмаль надходить по всій довжині ємності, що усуває "зависання" крохмалю над шнеком. Шнек приводиться в рух від двигуна потужністю 1,5 кВт через черв'ячний редуктор і варіатор швидкості ВЦ2Д.

Продуктивність сушарки може змінюватися в широкому діапазоні завдяки регульованій частоті обертання живильного шнека.

РОЗДІЛ 2. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Будь-яка система автоматизації повинна мати технологічні параметри, такі як температура, тиск, розхід, рівень, які необхідно контролювати та/або регулювати. Для вибору параметрів технологічного процесу було розроблено відповідну таблицю 2.1. [3]

Таблиця 2.1 – Параметри технологічного процесу

Параметр	Позиція на технологічній схемі	Функція	Відхилення	Значення	
				Мінімальне	Максимальне
Різниця тиску	5	Контроль	5%	0.5 бар	2 бар
Різниця тиску	10	Контроль	5%	0.5 бар	2 бар
Рівень	6	Контроль, регулювання	5%	0.5 м	2 м
Рівень	11	Контроль, регулювання	5%	0.5 м	2 м
Рівень	15	Контроль, регулювання	5%	0.5 м	2 м
Тиск	7	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	12	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	16	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	19	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	26	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	27	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	28	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	29	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар

Тиск	30	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	31	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	32	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	33	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	34	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	35	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	36	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	37	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	38	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	39	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	40	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	41	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	43	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Тиск	48	Контроль, регулювання	5%	2 бар	3 бар
Температура	8	Контроль	10%	25 *С	30*С
Температура	13	Контроль	10%	25 *С	30 *С
Температура	17	Контроль	10%	25 *С	30 *С
Температура	45	Контроль	10%	25 *С	150 *С
Вага	44	Контроль	5%	10 кг	11 кг

РОЗДІЛ 3. КАНАЛИ КОНТРОЛЮ ТА КОНТУРИ КЕРУВАННЯ

3.1 Канали контролю

До каналів контролю ми відносимо параметри системи, якої нам необхідно лише контролювати.

3.1.1 Канал контролю забиття фільтра

На функціональній схемі автоматизації відображено 2 фільтра, мета першого фільтра – це відділення крупного помолу картоплі від кашки, а мета другого фільтра – фільтрація води від механічних та хімічних домішок. Контроль здійснюється за допомогою датчиків різниці тиску. На рисунку 3.1 зображено фільтри. [5]

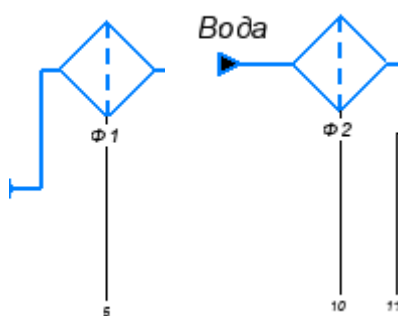


Рисунок 3.1 - Фільтри

3.1.2 Канал контролю за тиском, температурою та рівнем у накопичувачах

У системі присутні накопичувачі, а саме ємності для накопичування сировини. Постає необхідність контролювати такі параметри як тиск, температура та рівень у цих ємностях. На рисунку 3.2 зображено ємності. [5]

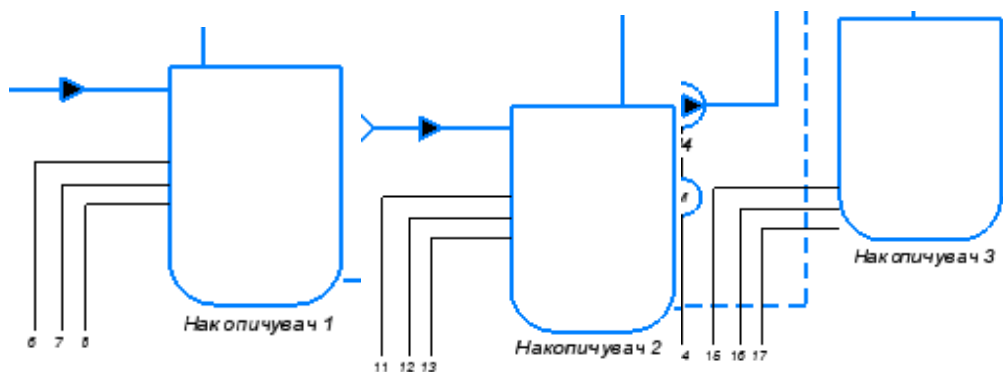


Рисунок 3.2 - Накопичувачі

3.1.3 Канал контролю тиску в системі гідроциклонів

Система гідроциклонів складається з насосів, самих гідроциклонів та давачів тиску, для контролю процесу. На рисунку 3.3 зображено [5]

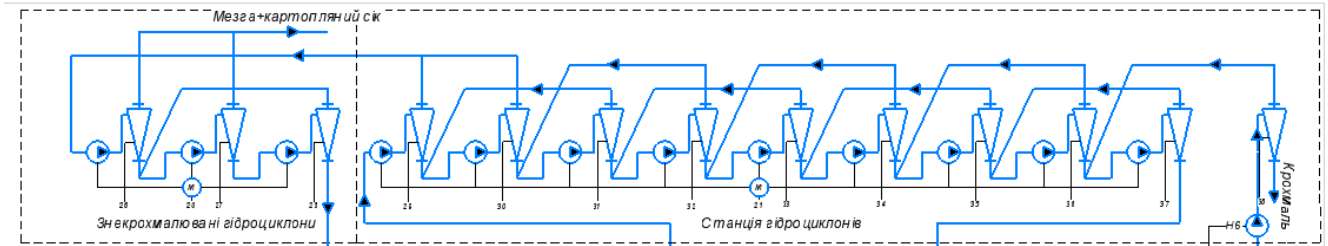


Рисунок 3.3 – Системи гідроциклонів

3.2 Контур керування

3.2.1 Контур керування терками

Він складається із давача тиску та виконавчого механізму – двигуна, який обертає барабан для терки картоплі. На рисунку 3.4 відображено контур керування терками.

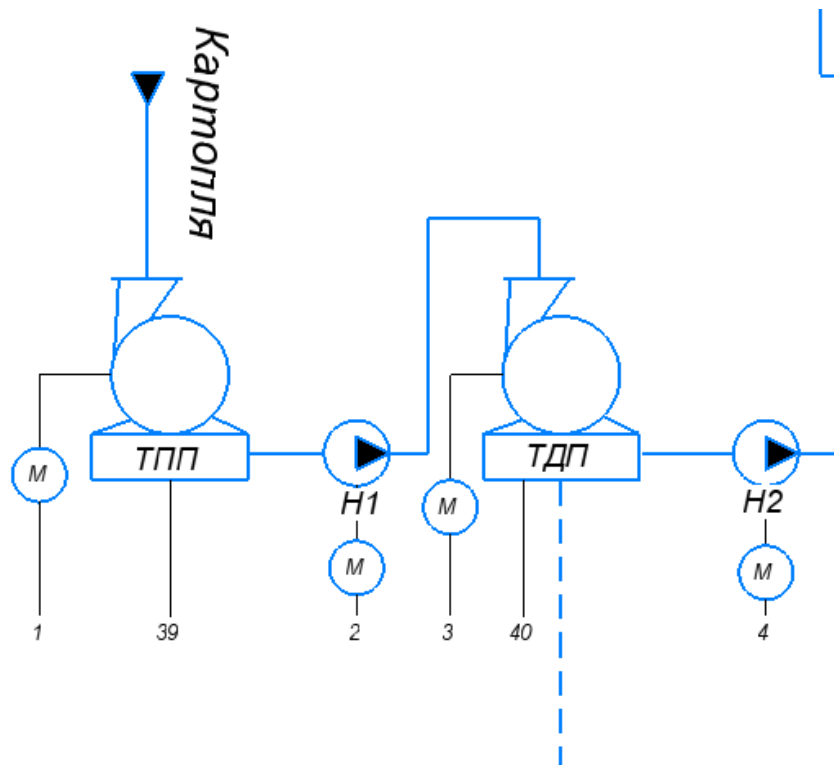


Рисунок 3.4 – Терки картоплі

3.2.2 Контур керування рівнем у накопичувачах

Для керування рівнем у накопичувачах встановлено датчі рівня у них і відповідно клапани, які регулюють цей рівень. На рисунку 3.5. зображено контур керування рівня накопичувачів

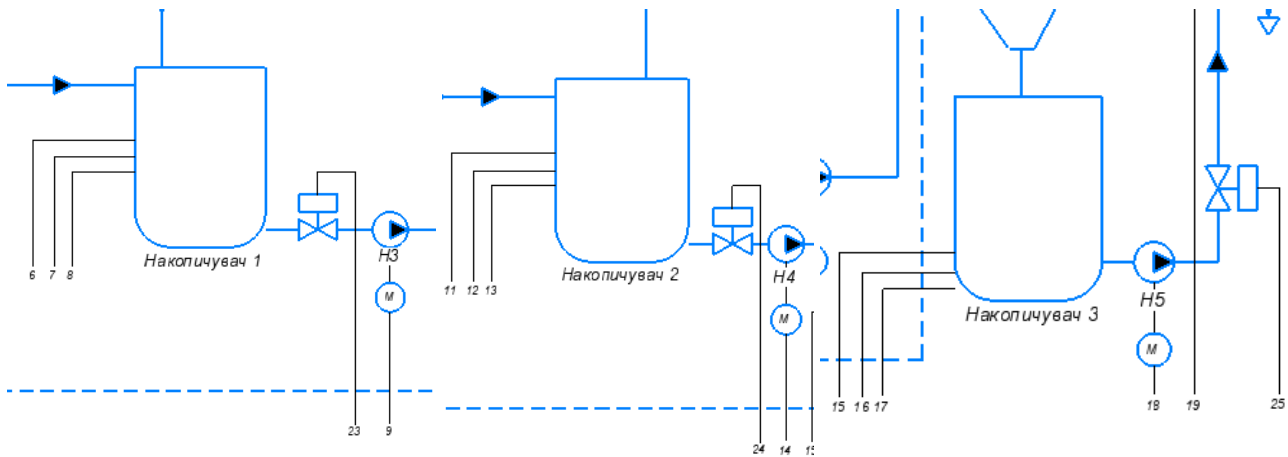


Рисунок 3.5 - Контур керування рівня накопичувачів

3.2.3 Контур керування гідроциклонами

Для керування гідроциклонами встановлено датчі тиску та насоси. На рисунку 3.6 зображено контур гідроциклонів.

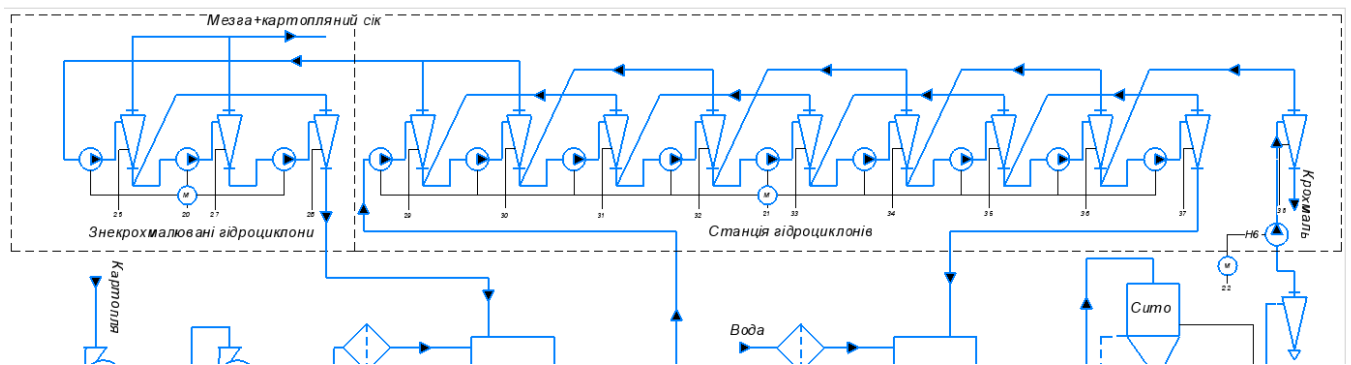


Рисунок 3.6 – Контур гідроциклонів

3.2.4 Контур керування осушкою крохмалю

Оскільки технологічна лінія виробляє сирий крохмаль, постає необхідність його просувати. Робити це необхідно за допомогою контура просушки крохмалю, яка зображена на рисунку 3.7. [6]

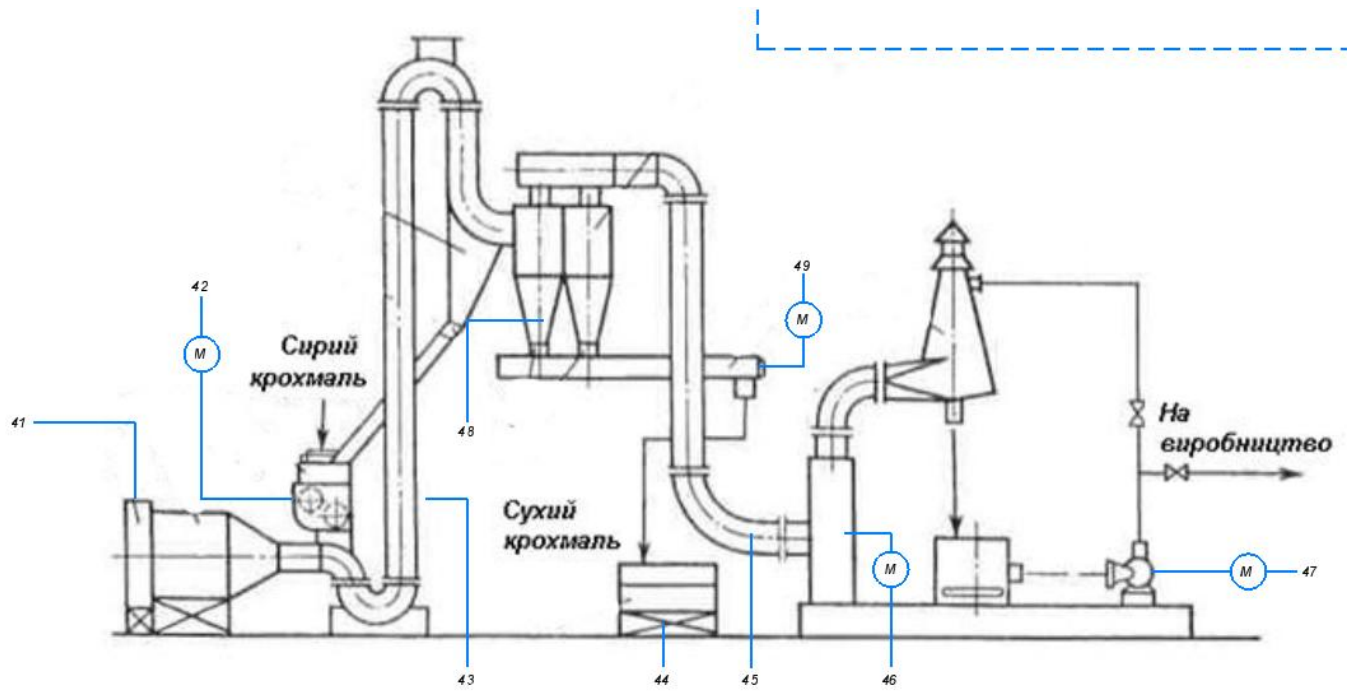


Рисунок 3.7 - Контур керування осушкою крохмалю

РОЗДІЛ 4. ПІДБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для реалізації автоматизованої системи керування постає необхідність у виборі технічних засобів автоматизації, а саме ПЛК, модулів вхідних та вихідних сигналів, давачів та виконавчих механізмів.

4.1 Вибір ПЛК, модулів вх/вих сигналів та елементів автоматизації

Для автоматичного керування виробничими процесами використовується програмований логічний контролер (ПЛК). ПЛК - це електронний пристрій, який застосовується для автоматизації та управління різноманітними промисловими операціями. Він спроможний виконувати логічні функції, обробляти дані, контролювати датчики та виконавчі механізми, а також генерувати керуючі сигнали на основі завантаженого програмного забезпечення.

ПЛК працює на основі програми, що зазвичай створюється за допомогою спеціалізованих мов програмування, таких як мова логічних схем (Ladder Logic), структурована текстова мова (Structured Text) або графічна мова програмування (Function Block Diagram). Це дозволяє інженерам розробляти логіку керування та алгоритми для автоматизації конкретних завдань.

Основна перевага ПЛК полягає в його здатності працювати в умовах промислового середовища, оскільки він має міцний корпус і може функціонувати при широкому діапазоні температур, вологості та електромагнітних завад. Крім того, ПЛК легко програмується, перепрограмується та розширюється для задоволення мінливих виробничих потреб. [6]

Для автоматизованої лінії з виробництва локшини швидкого приготування можна обрати ПЛК SchneiderElectricModiconM221CE24R. Його перевагами є компактні розміри, наявність двох інтерфейсних роз'ємів, висока швидкодія та надійність. Зображення ПЛК представлено на рисунку 4.1. З характеристиками можна ознайомитися у таблиці 4.1.



Рисунок 4.1 - Програмований логічний контролер SE M221CE24R

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики M221CE24R

Характеристики	Значення
Живлення, В	220В 50 Гц
Кількість входів, DI	14;
Кількість виходів, DO	6R; 4T.
Пам'ять	8 MB для програми 64 MB для system memory RAM
Вбудовані інтерфейси	serial з RJ45 роз'ємом и RS232/RS485 Порт USB з mini B USB 2.0 роз'ємом Ethernet з RJ45 роз'ємом

Контролер Modicon M221 не має вбудованих аналогових входів, тому необхідно інтегрувати в систему додатковий аналоговий модуль. До цього модуля потрібно підключити аналоговий сигнал діапазону 4...20 мА. Модуль TM3AI8 дозволяє підключити лише 8 давачів. Оскільки в нашій системі є 32 канали зв'язку, необхідно використати чотири таких модулів. Клемники, до яких не буде під'єднано сигнали, розглядатимемо як резервні.

Зображення аналогового модуля представлено на рисунку 4.2. Технічні характеристики модуля TM3AI8 наведені у таблиці 4.2. Ці дані дають змогу ретельно вивчити специфікації модуля та забезпечити його правильну інтеграцію та конфігурацію в системі керування.

Оскільки кількість необхідних каналів перевищує кількість доступних на одному модулі, використання чотирьох модулів TM3AI8 дозволить задовольнити вимоги системи та забезпечити можливість розширення в майбутньому за рахунок резервних клемників.



Рисунок 3.2 - Аналоговий модуль TM3AI8

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики аналогового модуля ТМ3АІ8

Характеристики	Значення
Живлення, В	24В
Кількість каналів	8;
Тип підключення	струм 4...20мА струм 0...20мА напруга 0...10В
Доступна перегрузка	13 В по напрузі 40 мА по струму
Діапазон напруги	20.4...28.8В

Аналізуючи функціональну схему автоматизації, ми маємо 17 дискретних вхідних та керуючих сигналів. Оскільки програмований логічний контролер має обмежену кількість вбудованих дискретних входів та виходів, доцільно інтегрувати додатковий дискретний модуль ТМ3DQ16R, зображення якого представлено на рисунку 4.3. Детальні технічні характеристики цього дискретного модуля наведені у таблиці 4.3.



Рисунок 4.3 - Модуль дискретних вихідних сигналів ТМ3DQ16R

Таблиця 4.3 - Технічні характеристики ТМ3DQ16R.

Характеристики	Значення
Живлення, В	24В
Кількість каналів	16;
Тип дискретного входу	Замикаюче реле

Механічна зносостійкість	20000000 цикли
Час спрацювання	10 ms (вкл)
	5 ms (викл)

Використання такого модуля дозволить розширити функціональні можливості системи керування та забезпечити необхідну кількість виходів для керування дискретними виконавчими механізмами. Завдяки ретельному вивченню специфікацій модуля TM3DQ16R, ми зможемо правильно підібрати його конфігурацію та інтегрувати в загальну систему керування виробничою лінією.

Додавання цього дискретного модуля забезпечить необхідну гнучкість та масштабованість системи, що є критично важливим для ефективної автоматизації та керування складними технологічними процесами.

Для забезпечення надійної роботи та безпеки системи керування необхідно передбачити використання автоматичних вимикачів. Автоматичні вимикачі виконують важливу захисну функцію. По-перше, вони захищають щит керування від коротких замикань, а по-друге, запобігають перевантаженням у системі.

При виборі автоматичних вимикачів необхідно враховувати їх призначення та навантаження. Якщо вимикачі не матимуть великих навантажень, а пускові струми будуть невеликими, доцільно обрати звичайні автоматичні вимикачі. Для живлення двигунів, як правило, використовуються силові автоматичні вимикачі. [6]

Для однофазного навантаження з невеликими струмами можна вибрати звичайний автомат PROMFACTOR FB2-63 2P B16. Це 16-амперний автоматичний вимикач з характеристикою спрацювання типу В. Його зображення представлено на рисунку 4.4, а характеристики у таблиці 4.4.



Рисунок 4.4 - Автоматичний вимикач PROMFACTOR FB2-63 2P B16

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики вимикача PROMFACTOR FB2-63 2P B16

Характеристики	Значення
Кількість полюсів	2P
Номінальний струм	16 А
Характеристика підключення	B
Гранична розривна здатність	6кА

Правильний підбір автоматичних вимикачів відповідно до характеру навантаження та умов експлуатації забезпечить надійний захист обладнання та персоналу від небезпечних ситуацій, пов'язаних з короткими замиканнями та перевантаженнями в системі керування.

Силовий автомат обираємо - PROMFACTOR FMC2/3U 100A 8-12In. Зображений він на рисунку 4.5, а характеристики подано у вигляді таблиці 4.5.



Рисунок 4.5 - PROMFACTOR FMC2/3U 100A 8-12In

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики вимикача PROMFACTOR FB2-63 2P B16

Характеристики	Значення
Кількість полюсів	3P
Номінальний струм	100 А
Тип напруги	380В 50 Гц
Гранична розривна здатність	35кА

Для керування електромагнітними клапанами необхідно використовувати реле, яке буде спрацьовувати при надходженні логічного сигналу від програмованого логічного контролера. Принцип роботи реле базується на явищі електромагнітної індукції. Електричний сигнал подається на котушку реле. Коли через котушку протікає електричний струм, вона створює магнітне поле. Це магнітне поле впливає на контактну систему реле, змушуючи його контакти змінювати своє положення.

Переключення контактів реле дозволяє вмикати або вимикати електричне коло, яким керує дане реле. Наприклад, реле може забезпечувати вмикання або вимикання електромагнітного клапана чи іншого обладнання, підключеного до його контактної групи.

Для забезпечення надійного керування електромагнітними клапанами ми обрали реле від компанії Phenix contact, модель PLC-RSC-24DC/21. Зображення цього реле представлено на рисунку 4.6, характеристики подано у вигляді таблиці 4.6.



Рисунок 4.6 - Реле PLC-RSC- 24DC / 21

Таблиця 4.6 – Характеристики Реле PLC-RSC- 24DC / 21

Характеристики	Значення
Вхідна напруга	24 В
Вхідний струм	9мА
Час спрацювання	5 мс.
Контакт	1 н.в.
Максимальна напруга меремикання	250 В 60/50 Гц

Використання такого типу реле дозволить програмованому логічному контролеру ефективно керувати електромагнітними клапанами шляхом подачі відповідних логічних сигналів, які будуть спричиняти спрацювання реле та переключення його контактної групи.

Для вмикання асинхронних двигунів, які забезпечують обертання конвеєрної стрічки, необхідно застосувати контактор. Хоча принцип дії контактора та реле подібний, вони відрізняються за призначенням та величиною навантажень, які можуть комутувати. Контактори використовуються для більш потужних навантажень, на відміну від реле. [6]

Для нашої системи ми обрали контактор від компанії PROMFACTOR, модель MCF3 100-04 4P. Це чотирьохполюсний контактор, розрахований на відповідні параметри двигунів конвеєрної лінії. Зображення даного контактора представлено на рисунку 4.7, а характеристики у таблиці 4.7.



Рисунок 4.7 - Контактор PROMFACTOR MCF3 100-04 4P

Таблиця 4.7 – Характеристики контактор PROMFACTOR MCF3 100-04 4P

Характеристики	Значення
Вхідна напруга	24 В
Струм комутації	100А
Час спрацювання	5 мс.
Контакт	4 н.в.
Максимальна напруга меремикання	400 В 60/50 Гц

Завдяки застосуванню такого контактора, ми зможемо надійно вмикати та вимикати асинхронні двигуни, які приводять в рух конвеєрну стрічку, керуючи ними відповідним логічним сигналом від програмованого логічного контролера. Контактор забезпечить ефективну комутацію

силових ланцюгів живлення двигунів, а його вибір гарантує відповідність параметрам навантаження та експлуатаційним вимогам системи.

Використання якісного контактора відповідної моделі та виробника є запорукою безперебійної та тривалої роботи системи приводу конвеєрної стрічки, а також забезпечить захист двигунів від перевантажень та аварійних ситуацій.

Для забезпечення живлення датчиків та модулів розширення системи керування необхідно використовувати перетворювач напруги, який буде конвертувати стандартну напругу 220 В 50 Гц в робочу напругу 24 В постійного струму з достатньою потужністю. В даному випадку ми обрали джерело живлення Ataba моделі S-240-24, розраховане на вихідну напругу 24 В при струмі до 10 А. Зображення цього блоку живлення представлено на рисунку 4.8.



Рисунок 4.8 – Блок живлення Ataba 24V 10A

Застосування такого блоку живлення дозволить забезпечити стабільне та безперервне енергопостачання всіх периферійних пристроїв системи керування, які працюють від напруги 24 В постійного струму. Потужності 240 Вт цього джерела буде достатньо для одночасного живлення декількох модулів вводу/виводу, датчиків та інших компонентів системи.

Вибір якісного та надійного блоку живлення з відповідними технічними характеристиками є важливим фактором для безперебійної роботи всієї автоматизованої системи керування виробничою лінією. Застосування перевіреного обладнання відомих виробників гарантує стабільність роботи та довгий термін експлуатації.

Для ефективного керування технологічним процесом виробництва необхідно інтегрувати в систему керуючу панель оператора. Оптимальним рішенням для нашого застосування може стати сенсорна панель KINCO моделі GL100E (рис. 4.9). Ця панель операторського інтерфейсу поєднує в собі зручність використання, функціональність та доступну ціну. З характеристиками можна ознайомитися у таблиці 4.8.

Застосування такої панелі дозволить операторам здійснювати зручний моніторинг і керування виробничим процесом за допомогою сенсорного екрану та інтуїтивно зрозумілого графічного інтерфейсу. Сенсорна технологія забезпечить швидкий та точний доступ до необхідних параметрів і функцій системи.

Обрана панель KINCO GL100E відрізняється компактними розмірами, що дозволяє ефективно розмістити її на пульті оператора чи в шафі керування. Її технічні характеристики та функціональні можливості повністю задовольняють вимоги нашого виробничого процесу.

Використання такої керуючої панелі значно спростить взаємодію персоналу з системою автоматизації, підвищить зручність експлуатації та загальну ефективність керування виробничою лінією.



Рисунок 4.9 – Панель оператора KINCO GL100E

Таблиця 4.8 - Технічні характеристики панелі KINCO GL100E

Характеристики	Значення
Живлення, В	24В
Діагональ	10”;
Інтерфейс	Ethernet; 2 COM ports
Степінь захисту	IP 44
Тип дисплею	TFT display
Розширення екрану	1024*600 high resolution

4.2 Вибір датчиків

Після детального аналізу системи керування виробничою лінією, ми дійшли висновку, що необхідно інтегрувати відповідні датчики для моніторингу таких параметрів як температура, тиск, вага та рівень.

Для вимірювання температури пропонується використати аналоговий датчик з вихідним уніфікованим сигналом 4...20 мА. Одним з можливих варіантів є датчик ТСМУ-002, який підтримує діапазони 4-20 мА та 0...10 В. Зображення цього датчика температури представлено на рисунку 4.10, а його детальні технічні характеристики наведені в таблиці 4.9.



Рисунок 4.10 – Давач температури ТСМУ-002 (4-20мА, 0..10В)

Таблиця 4.9 – Технічні характеристики датчика температури ТСМУ-002 (4-20мА, 0..10В)

Характеристики	Значення
Діапазон температур вим. середовища	-50 °С – 180 °С
Клас точності	0.2
Чутливий елемент	100М
Електричне з'єднання	4..20мА
Схема підключення	2-х дротова

Вибір саме такого типу датчика температури забезпечить сумісність із вибраною системою керування та модулями вводу/виводу. Аналоговий сигнал 4...20 мА дозволить точно та надійно передавати поточні значення температури в систему для подальшої обробки та використання в алгоритмах керування.

Застосування якісного та перевіреного датчика температури TCMY-002 гарантуватиме високу точність вимірювань, стабільність роботи та тривалий термін експлуатації в умовах виробничого середовища.

Для моніторингу тиску в контурі системи керування необхідно проаналізувати ринок та обрати відповідний перетворювач тиску. Оптимальним рішенням для нашого випадку буде перетворювач тиску серії MBS 3000 від компанії DANFOSS. Цей виробник пропонує широкий вибір моделей з різними діапазонами вимірювання тиску.

Враховуючи специфіку нашої системи, необхідно підібрати модель перетворювача з діапазоном вимірювання від 0 до 6 Бар. Саме такий діапазон забезпечить достатню точність та надійність вимірювань тиску в нашому контурі керування.[7]

Зображення обраного перетворювача тиску MBS 3000 DANFOSS представлено на рисунку 4.11, а його детальні технічні характеристики наведені в таблиці 4.10. Ці дані дозволяють переконатися у відповідності даного датчика поставленим вимогам та забезпечити коректне підключення і налаштування в системі.



Рисунок 4.11 - MBS 3000 DANFOSS

Таблиця 4.10 – Технічні характеристики датчика MBS 3000 DANFOSS

Характеристика	Значення
Діапазони вимірювань	0 – 25 МПа
Час реакції	4 мс
Граничний тиск перевантаження	до 1500 бар
Тиск розриву чутливого елемента	до 2000 бар
Вага	0,25 кг

Тип вихідного сигналу	4 – 20 мА
Захист від неправильного включення полярності	є
Напруга живлення	9 – 32 В

Вибір високоякісного та надійного перетворювача тиску від провідного виробника DANFOSS гарантуватиме точність та стабільність вимірювань тиску протягом тривалого часу експлуатації. Це є важливим фактором для безперебійної роботи системи керування та запобігання можливим аварійним ситуаціям.

Для вимірювання рівня рідини або сипучих матеріалів у збірниках доцільно використати безконтактний ультразвуковий датчик рівня. Хорошим вибором буде датчик OPTISOUND 3010 від відомого виробника KRONE. Зображення цього ультразвукового рівнеміра представлено на рисунку 4.12, його детальні технічні характеристики наведені в таблиці 4.11.



Рисунок 4.12 – Датчик KRONE OPTISOUND 3010

Таблиця 4.11 – Характеристика давача KRONE OPTISOUND 3010

Характеристика	Значення
Діапазон спрацювання	0.25 – 5 м
Вихідний сигнал	4...20 мА
Тип з'єднання	роз'єм M12, 5 пінний роз'єм
Швидкість спрацювання	100 мс

Застосування ультразвукової технології вимірювання рівня забезпечить високу точність показань, не залежну від типу середовища в резервуарі. Безконтактний принцип роботи такого датчика дозволяє уникнути зносу чутливих елементів та забезпечує тривалий термін експлуатації.

Датчик OPTISOUND 3010 від KRONE зарекомендував себе як надійний і якісний прилад, здатний стабільно працювати в промислових умовах. Його вибір для моніторингу рівня в нашій системі керування виробничою лінією є обґрунтованим і забезпечить отримання достовірних даних для подальшого аналізу та регулювання технологічного процесу.

Для точного зважування готового сухого крохмалю потрібно використати тензометричний датчик ваги. Оптимальним вибором буде датчик моделі CZL803-М з діапазоном зважування до 2 тонн. Цей тензодатчик працює за принципом перетворення деформацій, спричинених вагою вантажу, в електричний сигнал. [7]

Зображення обраного тензометричного датчика ваги CZL803-М наведено на рисунку 4.13, його детальні технічні характеристики наведені в таблиці 4.12.



Рисунок 4.13 – Тензометричний датчик на 2 тони CZL803-М

Таблиця 4.12 – Характеристики тензометричного датчика CZL803-М балочного типу.

Характеристика	Значення
Модель давача	CZL803-М 2 т
Клас точності	C3
Клас захисту	IP65
Номінальна навантаження	1000 кг
Чутливість	3,0 мВ/Б
Нелінійність	0,018 %
Гістерезис	0,018 %
Номінальна напруга	9-12 В
Допустима напруга	5-18 В
Робоча температура	-20° С ~ +55°С
Допустима перегрузка	120 %

Завдяки своїй конструкції та високій точності такі датчики ідеально підходять для зважування сипучих матеріалів, таких як сухий крохмаль, на виробничих лініях.

Використання надійного тензодатчика дозволить отримувати точні дані про масу продукту та забезпечить контроль якості та відповідність цільовим показникам виробництва. Крім того, електричний вихідний сигнал легко інтегрується з системою керування для подальшої обробки та аналізу отриманих даних.

Вибір тензометричного датчика ваги CZL803-M з відповідним діапазоном зважування гарантуватиме надійність та довговічність експлуатації в умовах виробничого середовища.

4.3 Вибір виконавчих механізмів

Після ретельного підбору всіх необхідних пристроїв автоматики та датчиків, слід звернути увагу на вибір виконавчих механізмів. Саме за допомогою виконавчих механізмів здійснюються такі процеси, як переміщення, різання, випаровування та інші операції, необхідні для виробництва локшини швидкого приготування. У нашій системі керування передбачено використання асинхронних двигунів, електромагнітних клапанів та частотного перетворювача, який забезпечує регулювання швидкості обертання двигунів та плавний пуск системи. [7]

Розглянувши наявні рішення, ми можемо обрати асинхронний двигун для приводу тістомісильної машини. Пропонується використати двигун потужністю 3 кВт, модель AIP 100s4 (IM1081) з номінальною швидкістю обертання 1500 об/хв. Зображення цього двигуна представлено на рисунку 4.14, а його технічні характеристики наведені у таблиці 4.13.



Рисунок 4.14 - AIP 100s4 (IM1081) 3.0 кВт

Таблиця 4.13 – Технічні характеристики AIP 100s4 (IM1081)

Характеристика	Значення
Потужність	3 кВт
Оберти	0...1500 об/хв
Напруга живлення	380 В
Під'єднання до валу	можливе
КПД	90%

Вибір саме такого асинхронного двигуна забезпечить необхідну потужність та швидкість обертання для ефективної роботи тістомісильної машини. Надійна конструкція та високі експлуатаційні показники цієї моделі гарантуватимуть стабільну та безперебійну роботу протягом тривалого часу в умовах виробничого середовища.

Для забезпечення гнучкого керування швидкістю обертання та плавного пуску асинхронного двигуна AIP 100s4 потужністю 3 кВт, необхідно інтегрувати в систему частотний перетворювач (Variable Frequency Drive, VFD). [7]

Для даного застосування можна обрати перетворювач частоти потужністю 3 кВт та напругою живлення 380В. Зображення рекомендованого частотного перетворювача представлено на рисунку 4.15, його детальні технічні характеристики наведені в таблиці 4.14.



Рисунок 4.15 – Частотний перетворювач потужністю 3 кВт

Таблиця 4.14 – Технічні характеристики (VFD) 3 kW 380V

Характеристика	Значення
Потужність	3 кВт
Вихідна частота	0...400 Гц
Напруга живлення	380 В 50 Гц
Комунікаційний порт	RS485 MODBUS
Плавний пуск	так
Сертифікат якості	ISO9001

Використання частотного перетворювача дозволить плавно регулювати частоту обертання двигуна шляхом зміни параметрів вихідної напруги та частоти. Це забезпечить можливість точного налаштування швидкості та крутного моменту двигуна відповідно до вимог технологічного процесу.

Крім того, функція плавного пуску, яку забезпечує VFD, допоможе уникнути різких стрибків струму та механічних навантажень на привід під час запуску двигуна, що значно подовжить термін його експлуатації.

Вибір якісного частотного перетворювача відповідної потужності та напруги живлення є важливим фактором для забезпечення надійної та ефективної роботи приводу тістомісильної машини в складі автоматизованої виробничої лінії.

Щоб забезпечити обертання шнека та інших виконавчих механізмів сушильного контуру можна використати трифазний асинхронний двигун AIP112MA8 потужністю 2,2 кВт. Зображення цього асинхронного електродвигуна представлено на рисунку 4.16, його детальні технічні характеристики наведені в таблиці 4.15.

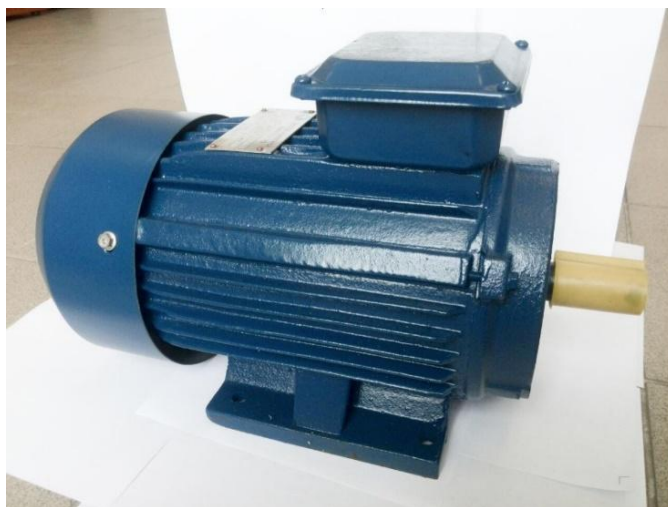


Рисунок 4.16 – Асинхронний двигун AIP112MA8

Таблиця 4.15 – Характеристики АД АІР112МА8

Характеристика	Значення
Потужність	2.2 кВт
Частота обертів	750 об/хв
Тип	Асинхронний
Живлення	380 В 50 Гц
Кількість фаз	3
Номинальний струм	6 А

Вибір даної моделі двигуна обумовлений його потужністю, яка відповідає вимогам навантаження в сушильному контурі. Асинхронні електродвигуни відомі своєю надійністю, простотою конструкції та низькими експлуатаційними витратами, що робить їх ідеальним вибором для промислових застосувань.

Двигун АІР112МА8 забезпечить необхідний крутний момент та швидкість обертання для приводу шнека та супутнього обладнання в сушильній секції. Його робочі характеристики дозволять ефективно реалізувати технологічний процес сушіння під час виробництва локшини швидкого приготування.

Застосування надійного асинхронного двигуна відомого виробника гарантуватиме стабільну та безперебійну роботу протягом тривалого часу в умовах виробничого середовища. Це є важливим фактором для забезпечення безперервності виробничого циклу та високої продуктивності лінії.

В даній автоматизованій системі керування виробничою лінією також передбачено використання електромагнітних клапанів. Для цієї мети ви обрали модель електромагнітного клапана ІСV-201G-В від відомого виробника Hunter. Зображення цього електромагнітного клапана представлено на рисунку 4.16.



Рисунок 4.16 – Електромагнітний клапан Hunter ICV-201G-B

Електромагнітні клапани є незамінними виконавчими пристроями для контролю потоків рідин або газів у промислових системах. Вони забезпечують надійне відкриття або перекриття потоку середовища шляхом переміщення запірного елемента під дією електромагнітного поля, яке створюється електричним сигналом керування від системи автоматики.

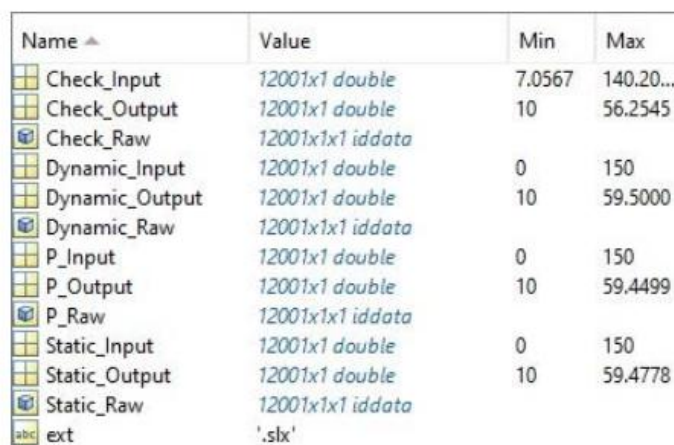
Модель ICV-201G-B від Hunter відрізняється компактними розмірами, міцною конструкцією та можливістю роботи з різноманітними робочими середовищами. Її технічні характеристики та матеріали виготовлення розраховані на експлуатацію в умовах виробничого середовища.

Вибір саме цієї моделі електромагнітного клапана забезпечить надійне керування потоками в системі, що є критично важливим для коректної роботи технологічного процесу виробництва локшини швидкого приготування.

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

5.1 Моделювання у середовищі MatLab процесу сушки крохмалю

Для побудови моделі у MatLab необхідно вивести передаточну функцію системи. Для цього ми імпортуємо дані у вигляді змінних (рис. 5.1), які було взято з відкритих джерел інформації про автоматизовану сушку крохмалю. [8]



Name ^	Value	Min	Max
Check_Input	12001x1 double	7.0567	140.20...
Check_Output	12001x1 double	10	56.2545
Check_Raw	12001x1x1 iddata		
Dynamic_Input	12001x1 double	0	150
Dynamic_Output	12001x1 double	10	59.5000
Dynamic_Raw	12001x1x1 iddata		
P_Input	12001x1 double	0	150
P_Output	12001x1 double	10	59.4499
P_Raw	12001x1x1 iddata		
Static_Input	12001x1 double	0	150
Static_Output	12001x1 double	10	59.4778
Static_Raw	12001x1x1 iddata		
ext	'.srx'		

Рисунок 5.1 – Таблиця з файлами даних

Зафіксовані дані вимірювань включають в себе постійну компоненту, яка відповідає початковій температурі крохмалю при його входженні в сушильну камеру, що становить 10 °С. З метою проведення точної ідентифікації параметрів системи, необхідно виконати попередню обробку цих даних:

```
> > Dynamic_Output = Dynamic_Output - 10;  
> > Static_Output = Static _Output - 10;  
> > P_Output = P_Output - 10;  
> > Check_Output = Check _Output - 10;
```

Така обробка полягає у відніманні значення 10 °С від кожного виміряного показника температури. Це дозволяє виокремити динамічну складову процесу, усуваючи вплив початкових умов.

Цей крок є критично важливим для коректного аналізу динаміки зміни температури крохмалю в процесі сушіння. Видалення статичної складової дає можливість зосередитись на змінах температури, які безпосередньо пов'язані з процесом теплообміну та випаровування вологи.

Таким чином, скориговані дані більш точно відображають характер протікання процесу сушіння та можуть бути використані для подальшої ідентифікації параметрів математичної моделі системи з високою достовірністю.

Для перетворення усіх даних, виконуємо в командному вікні наступні команди:

```
> > Dynamic_Raw = iddata(Dynamic_Output, Dynamic_Input, 1.0);  
> > Static_Raw = iddata(Static_Output, Static_Input, 1.0);  
> > P_Raw = iddata(P_Output, P_Input, 1.0);  
> > Check_Raw = iddata(Check_Output, Check_Input, 1.0);
```

Експериментальні дані, отримані під час П-подібного тестування системи, можна розділити на два окремі масиви інформації. Ці масиви відображають різні фази реакції досліджуваного об'єкта на зміни керуючого сигналу.

Перший масив даних характеризує поведінку системи при ступінчастому збільшенні керуючого впливу. Він демонструє, як об'єкт реагує на зміну керуючого сигналу від початкового нульового значення до максимального рівня, який становить 150°C або 100% від повного діапазону.

Другий масив даних, в свою чергу, описує реакцію системи на зворотну зміну керуючого впливу. Він показує, як об'єкт поводить себе при різкому зниженні керуючого сигналу від максимального значення (150°C або 100%) назад до нульового рівня.

5.1.1 Структурна ідентифікація

Вивчення динамічних характеристик системи, представлених на рисунку 5.2, виявляє наявність часу транспортного запізнення перед появою вихідного сигналу. Це запізнення є сукупністю декількох факторів: час нагрівання теплообмінника, затримка в нагріванні повітря, що подається в сушарку, час передачі гарячого повітря від теплообмінника до пневматичної сушарки, а також час, необхідний для нагрівання самої сушарки та крохмалю в ній. Загальна тривалість цього запізнення становить приблизно 150 секунд.

На графіку динамічних характеристик чітко простежується одне перевищення, що свідчить про наявність у об'єкта керування виразної траєкторії відгуку. Це дозволяє зробити висновок, що математична модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки першого або більш високого порядку. [9]

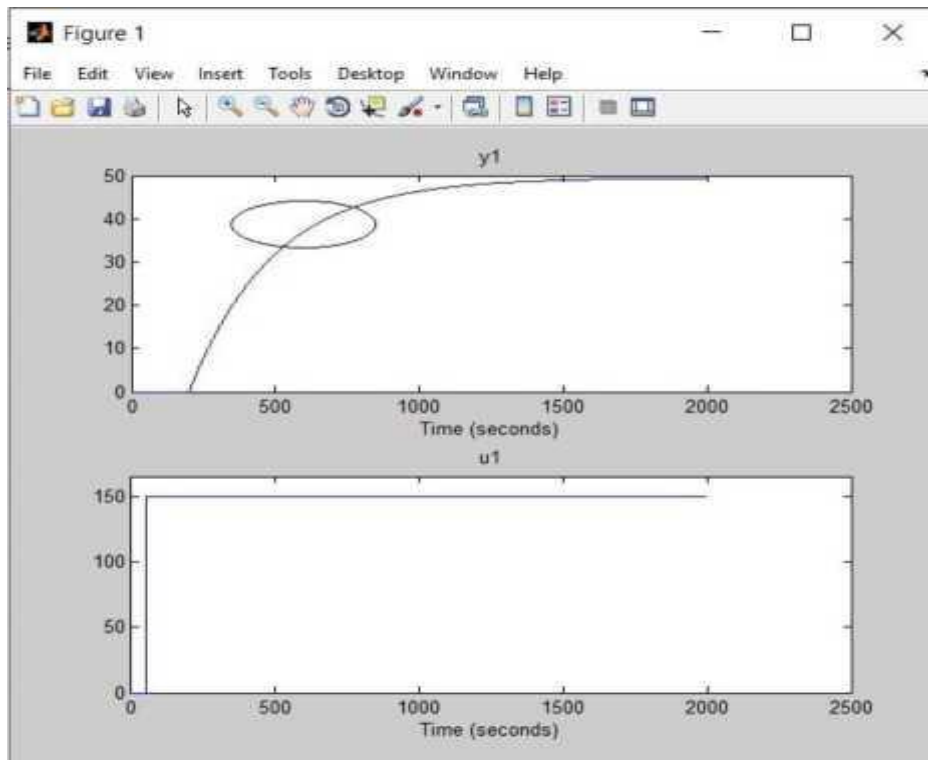


Рисунок 5.2 - Аналіз динамічної характеристики

Дослідження характеристик системи, отриманих при застосуванні П-подібного керуючого сигналу (як показано на рисунку 5.3), демонструє цікаву динаміку реакції об'єкта. Спостерігається, що виміряні значення зростають при підвищенні керуючого впливу від нульового рівня до 150°C (або 100% діапазону), і, навпаки, знижуються при зворотній зміні керуючого впливу від 150°C (100%) до нуля.

Така поведінка системи є характерною для об'єктів, які мають властивість самовирівнювання. Це означає, що шар крохмалю в керованій сушарці здатний самостійно встановлювати новий стаціонарний стан після зміни керуючого впливу, без необхідності додаткового зовнішнього регулювання.

Крім того, відсутність накопичувального ефекту в реакції системи на зміну керуючого впливу вказує на те, що об'єкт не має інтегральних характеристик. Іншими словами, вихідний сигнал не продовжує зростати або зменшуватися нескінченно при постійному вхідному сигналі.

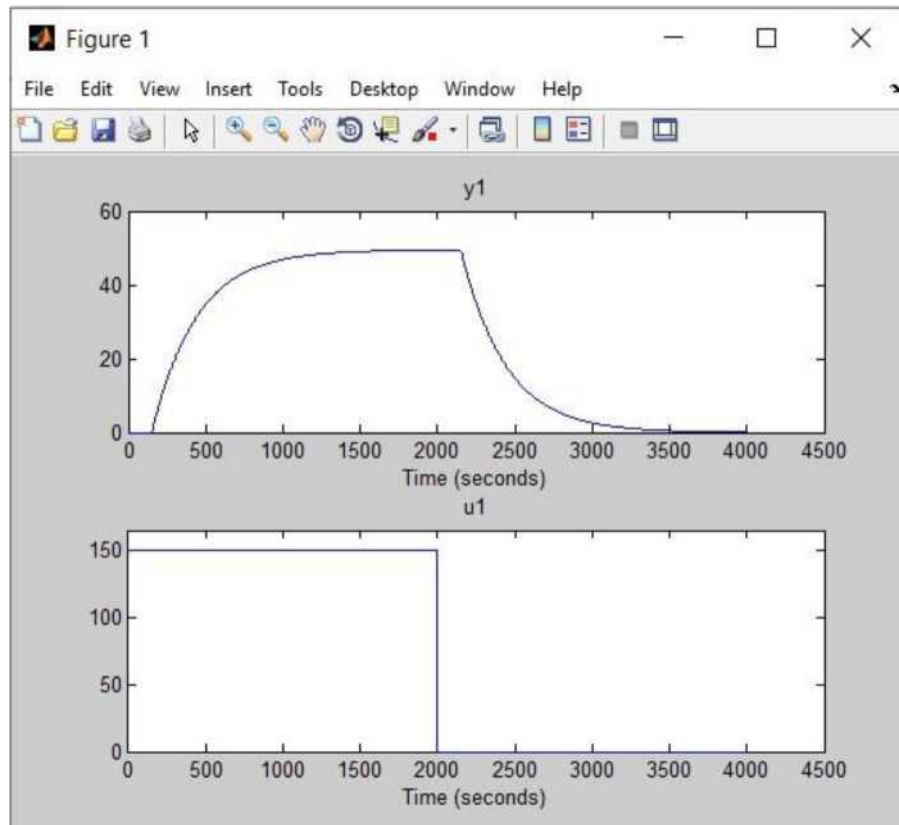


Рисунок 5.3 - Аналіз П-образної характеристики

Перевірка об'єкта керування на симетричність

```
>> std(P_First) - std(P_Second)
ans = 0.0187
```

Аналіз експериментальних даних показує, що діапазон зміни вихідної величини об'єкта керування становить 49.45 одиниць. При цьому, отримане середньоквадратичне відхилення різниці між вимірами дорівнює 0.0187, що складає менше 1% (а саме 0.4945) від загального діапазону зміни вихідної величини.

Такий низький відсоток відхилення свідчить про високу симетричність об'єкта керування. Це означає, що реакція системи на збільшення керуючого впливу є дзеркальним відображенням її реакції на зменшення цього впливу.

Ця симетричність дозволяє зробити важливий висновок: розроблена модель може бути з високою точністю застосована для симуляції процесів, пов'язаних як зі збільшенням, так і зі зменшенням фактичної величини керуючого впливу.

Варто зазначити, що ці значення були отримані та проаналізовані з метою побудови статичних характеристик системи. Для цього були використані спеціалізовані інструменти редагування графіків, доступні в середовищі MATLAB. Результати цього аналізу візуально представлені на рисунку 5.4.

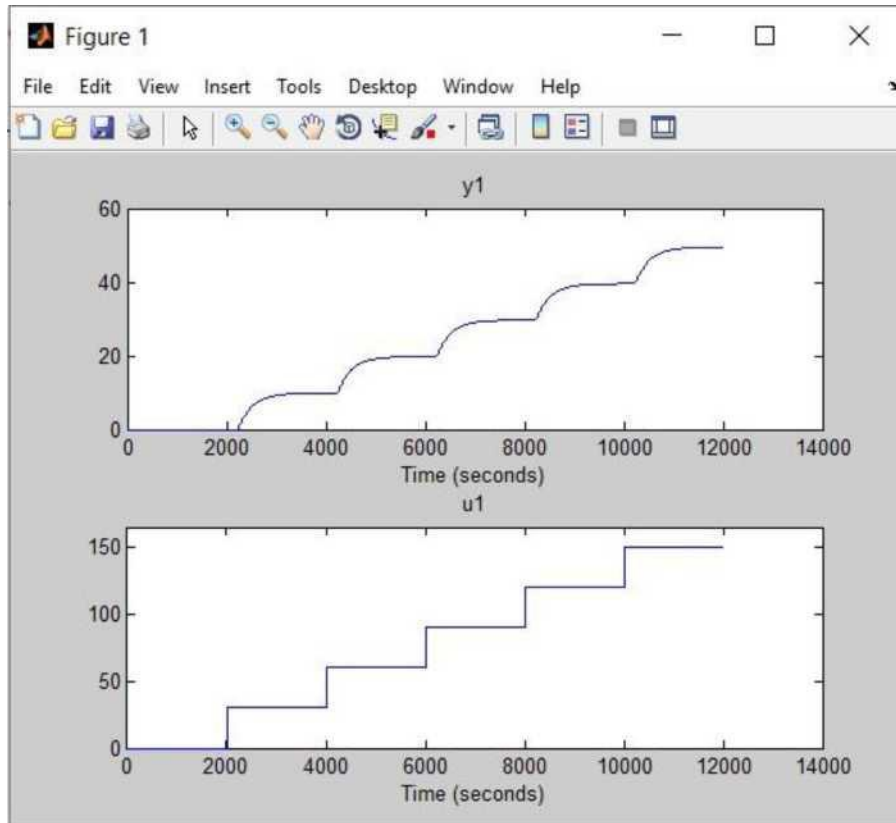


Рисунок 5.4 - Дані для побудови статичної характеристики

На основі отриманих даних були побудовані статичні характеристики (рис. 5.5):

```
>> Static_Input_Vector = [ 0    30    60    90   120   150];
>> Static_Output_Vector = [ 0    9.9   19.8  29.7 39.6   49.5];
>> plot(Static_Input_Vector, Static_Output_Vector, '-ok', 'LineWidth', 3)
```

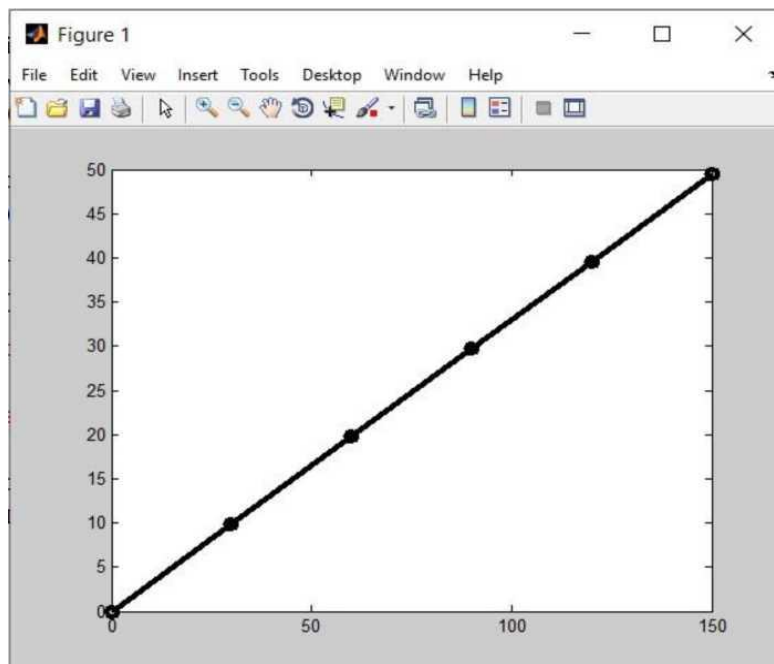


Рисунок 5.6 - Статична характеристика

Аналіз статичних характеристик об'єкта керування демонструє їх лінійність у всьому діапазоні керуючого впливу від 0 до 150°C (або 0-100%). Ця лінійність є ключовим показником, який дозволяє зробити висновок про лінійність самого об'єкта керування в межах зазначеного діапазону.

Така лінійність є важливою властивістю, оскільки вона спрощує процес моделювання та керування системою, дозволяючи застосовувати лінійні методи аналізу та синтезу систем автоматичного регулювання.

Поглиблений аналіз експериментальних даних також виявляє, що динамічна поведінка об'єкта керування може бути адекватно описана за допомогою математичної моделі у вигляді аперіодичної ланки. Ця ланка може бути першого порядку або вищого порядку, але обов'язково з урахуванням часу запізнення.

Наявність запізнення в моделі є критично важливою, оскільки вона відображає реальну фізичну затримку в процесі передачі тепла від нагрівального елемента до крохмалю через повітряне середовище в сушарці.

Таке представлення об'єкта керування дозволяє точно описати його динамічні властивості, що є ключовим фактором для подальшого проектування ефективної системи автоматичного регулювання процесу сушіння крохмалю.

$$W(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{Tp + 1}, \quad (5.1)$$

де $W(p)$ - передаточна функція об'єкту керування; T - постійна часу; k - коефіцієнт підсилення, τ - час запізнення. [10]

5.1.2 Параметрична ідентифікація

Для визначення параметрів моделі об'єкта керування застосовується спеціалізований програмний інструмент "System Identification Toolbox", що є частиною середовища Matlab. Цей потужний інструментарій дозволяє виконувати автоматизований розрахунок характеристик моделі, представленої у вигляді аперіодичних ланок.

В рамках даного дослідження, за допомогою "System Identification Toolbox" проводиться аналіз та ідентифікація параметрів для двох типів моделей:

- Аперіодична ланка першого порядку з запізненням
- Аперіодична ланка другого порядку з запізненням

Результати цього аналізу візуально представлені на рисунках 5.7, 5.8 та 5.9. Ці графіки відображають порівняння експериментальних даних з результатами моделювання для обох типів аперіодичних ланок, що дозволяє оцінити точність та адекватність кожної з моделей.

Використання такого спеціалізованого програмного забезпечення значно підвищує ефективність процесу ідентифікації параметрів моделі та забезпечує високу точність результатів, що є критично важливим для подальшого синтезу системи автоматичного регулювання процесу сушіння крохмалю.

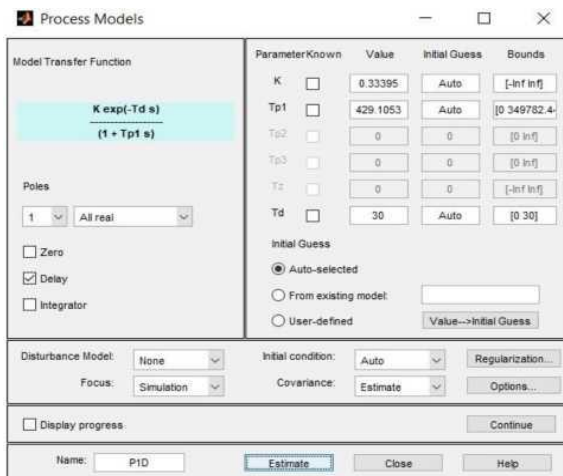


Рисунок 5.7 - Розрахунок параметрів для аперіодичної ланки першого порядку з запізненням

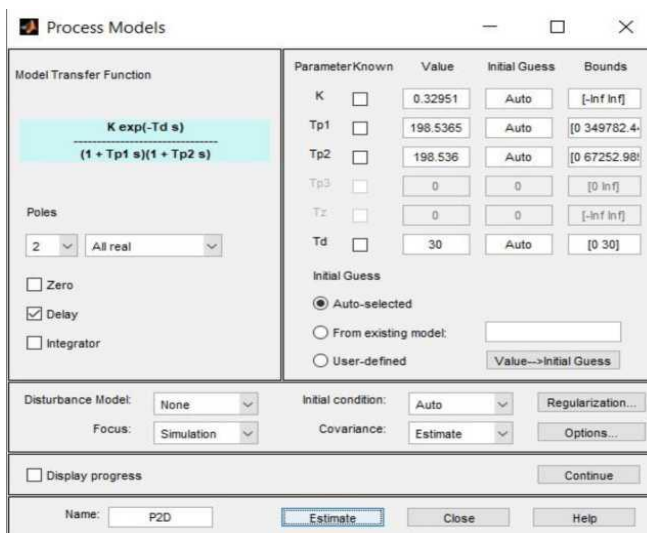


Рисунок 5.8 - Розрахунок параметрів для аперіодичної ланки другого порядку з запізненням

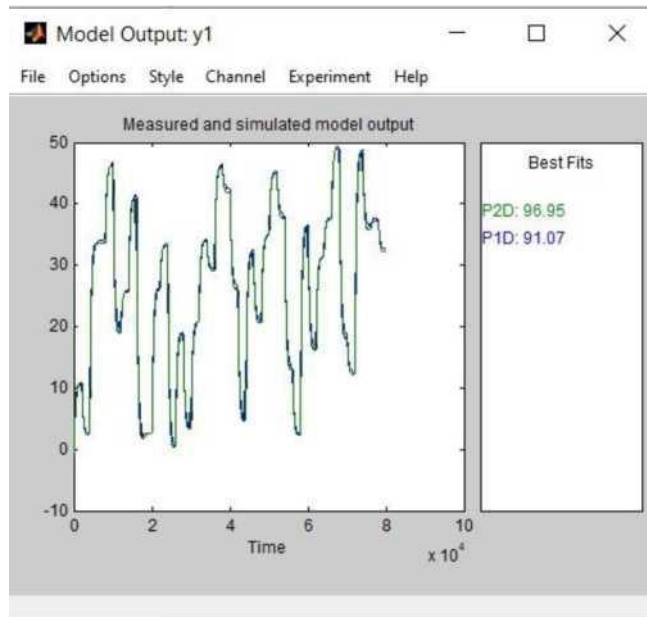


Рисунок 5.9 - Оцінка моделей по перевіірочним даним

Аналіз результатів моделювання демонструє, що модель першого порядку більш точно відповідає експериментальним даним порівняно з моделлю другого порядку. Це свідчить про її кращу здатність описувати динаміку досліджуваного об'єкта керування.

Порівняння отриманих значень коефіцієнта підсилення та часу запізнення з попередньо визначеними параметрами виявило цікаву закономірність. Виявляється, що раніше встановлений час запізнення був дещо недооцінений. [10]

У зв'язку з цим було проведено корегування часу затримки в моделі. Після цієї модифікації були повторно розраховані параметри моделі, і результати показали значно вищий ступінь відповідності між моделлю та експериментальними даними. [11]

Графічне представлення цих покращених результатів можна побачити на рисунках 5.10 та 5.11. Ці графіки наочно демонструють, наскільки точно скоригована модель першого порядку відтворює динамічну поведінку реального об'єкта керування.

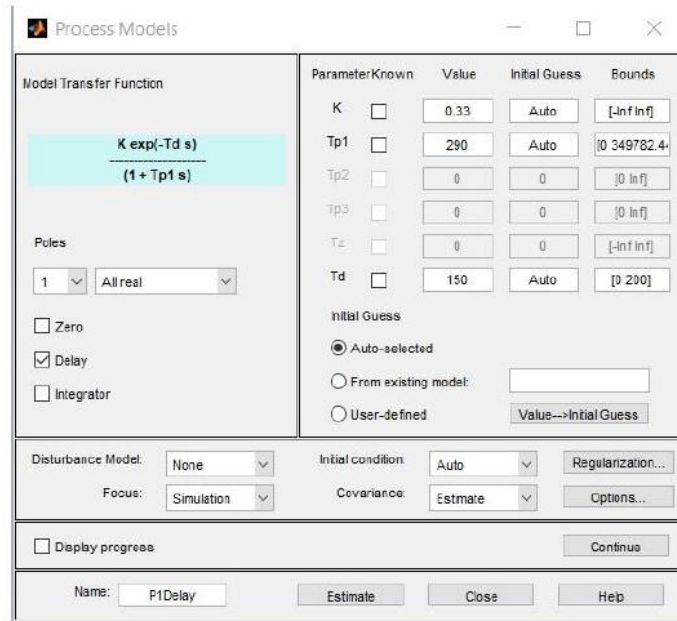


Рисунок 5.10 - Параметри для аперіодичної ланки першого порядку з запізненням

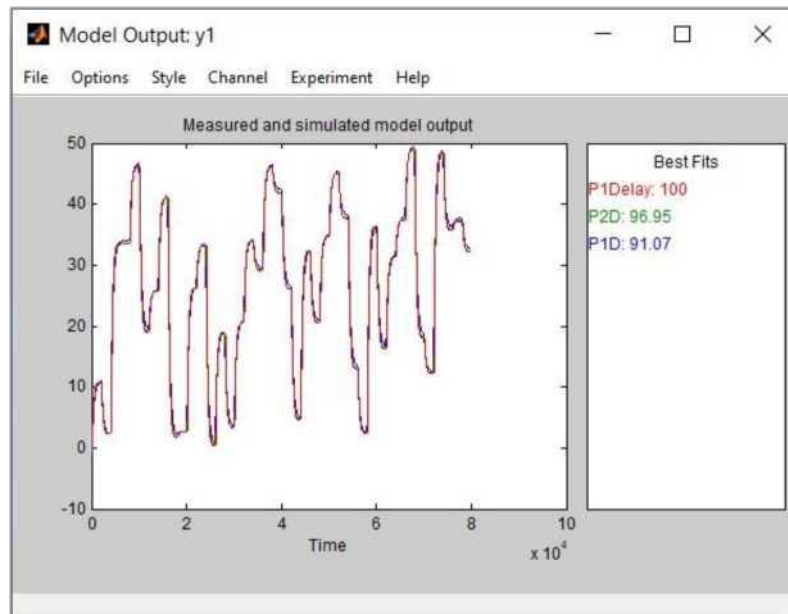


Рисунок 5.11 - Оцінка моделей по перевірочним даним

Таке уточнення параметрів моделі є критично важливим кроком у процесі ідентифікації системи, оскільки воно забезпечує більш точну основу для подальшого проектування та оптимізації системи автоматичного регулювання процесу сушіння крохмалю.

Результати параметричної ідентифікації моделі об'єкта представлені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Значення параметрів моделей

Найменування	P1D	PIDelay	P2D
k	0.33395	0.33	0.32951
T1, с	429,11	290	198.54
T2, с	-	-	198.54
τ, с	30	150	30
Динамічна характеристика			
NRMSE, %	84.68	100	94.46
FPE	4.963	3.151e-25	0.6058
MSE	3.561	6.157e-25	0.4663
Перевірочні дані			
NRMSE, %	91.07	100	96.95

Аналіз отриманих оцінок показує, що нова модель першого порядку демонструє найкращу відповідність тестовим даним порівняно з іншими моделями, маючи коефіцієнт збігу 100% проти 96,95% та 91,07% у інших моделей. Це дозволяє зробити висновок, що аперіодична ланка першого порядку з часом запізнення 150 секунд найбільш точно описує досліджуваний тестовий об'єкт. [12]

На основі проведеного дослідження були визначені характеристики передачі для каналу регулювання "температура агенту сушіння - температура крохмалю" в пневматичній сушарці крохмалю ПС-15. Встановлено, що ці характеристики можна описати рівнянням (5.2), яке забезпечує коефіцієнт збігу близько 100% з експериментальними даними. [13]

$$W(p) = \frac{0.33e^{-150p}}{290p + 1} \quad (5.2)$$

5.2 Розробка регулятора у MatLab для процесу сушки крохмалю

При накладанні графіків виявлено, що крива виміряного істинного значення об'єкта керування співпадає з кривими моделей об'єкта керування. Одна з цих моделей була створена за допомогою програмного забезпечення System Identification Toolbox, а інша - побудована на основі передаточної функції.

Порівняльний аналіз графіків (рис. 5.12, 5.13) демонструє, що модель, розроблена в середовищі моделювання Simulink, повністю відповідає моделі, отриманій за допомогою програмного забезпечення System Identification Toolbox. Це свідчить про точність та узгодженість результатів, отриманих різними методами моделювання.

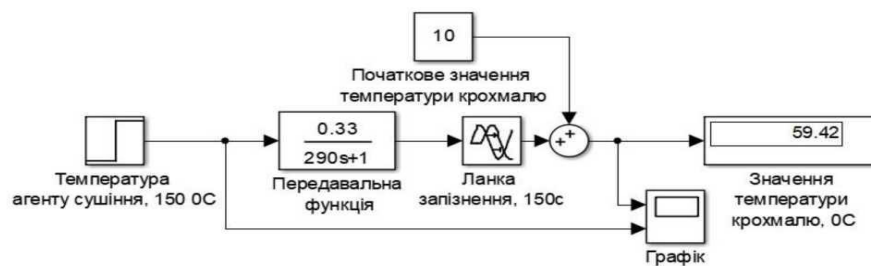


Рисунок 5.12 - Модель об'єкта керування у Simulink

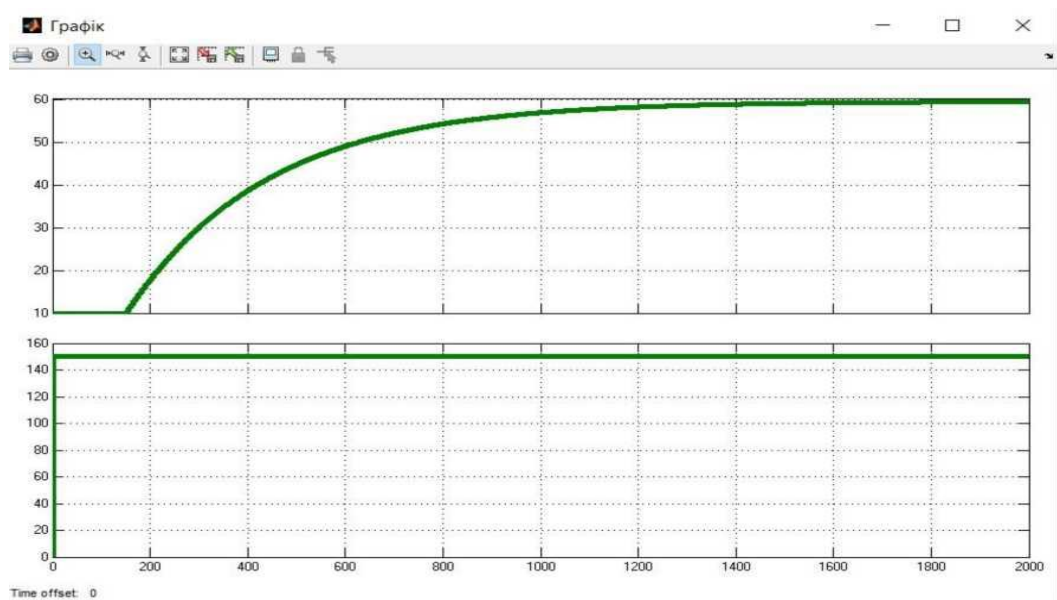


Рисунок 5.13 - Графік динамічної характеристики об'єкта керування

5.2.1 Підбір типу регулятора та його параметрів

Спочатку будемо модель регулятора, як показано на рисунку 5.14:

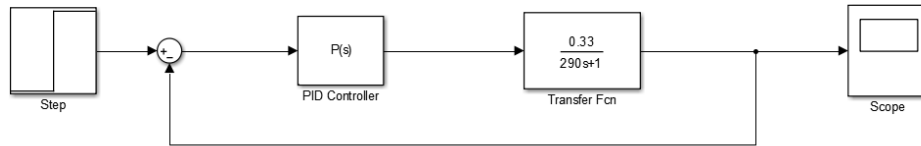


Рисунок 5.14 – Модель ідеального безперервного Р регулятора

В якості регулятора обиралися промислові типи, П, ІІ та ПІД регулятори. До основних критеріїв підбору відносимо час перерегулювання та час налаштування на вхідну величину.

На рисунку 5.15 зображено графік ідеального регулятора ІІ типу.

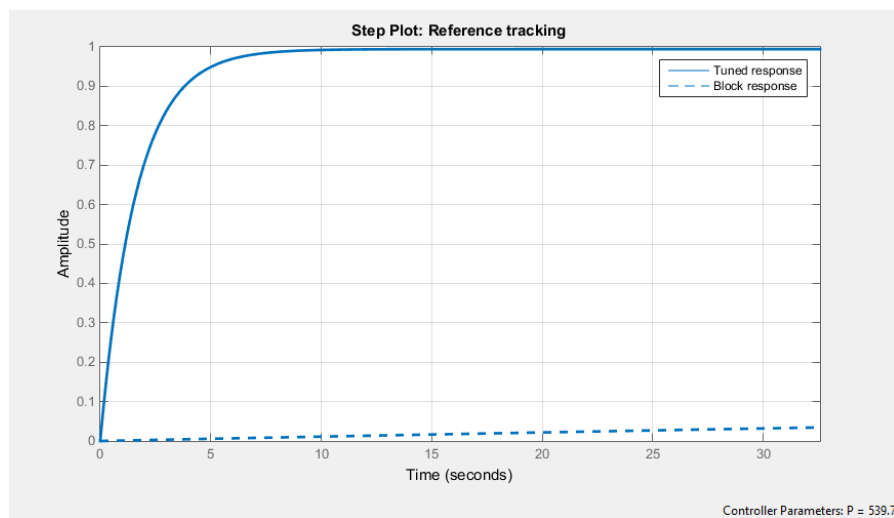


Рисунок 5.15 – Ідеальний регулятор ІІ типу

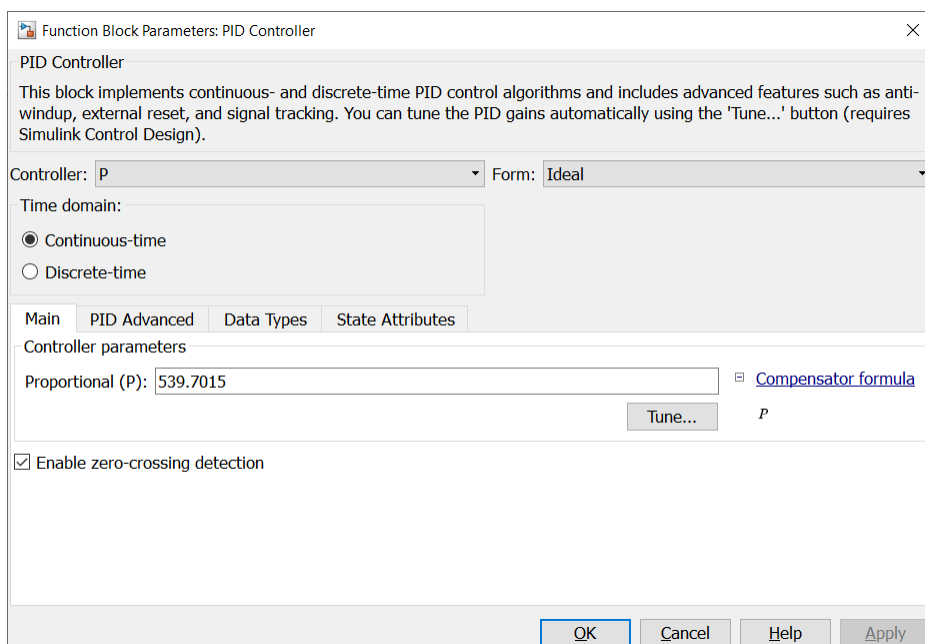


Рисунок 5.16 – Пропорційний коефіцієнт налаштування

Після виконання налаштування регулятора я отримав наступні результати: КП – 539.7015, час регулювання - 6 секунди, саме перерегулювання відсутнє. Такі ж значення було отримано і для безперервного паралельного П-регулятора під час налаштування.

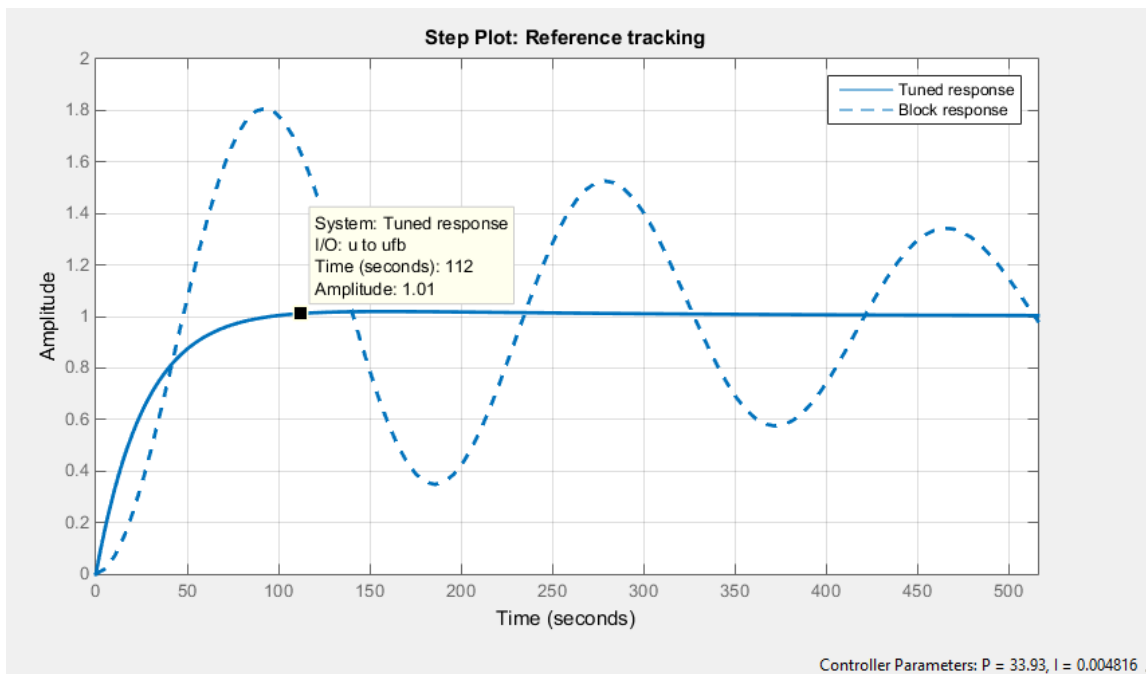


Рисунок 5.17 – Налаштування ідеального ПІ регулятора

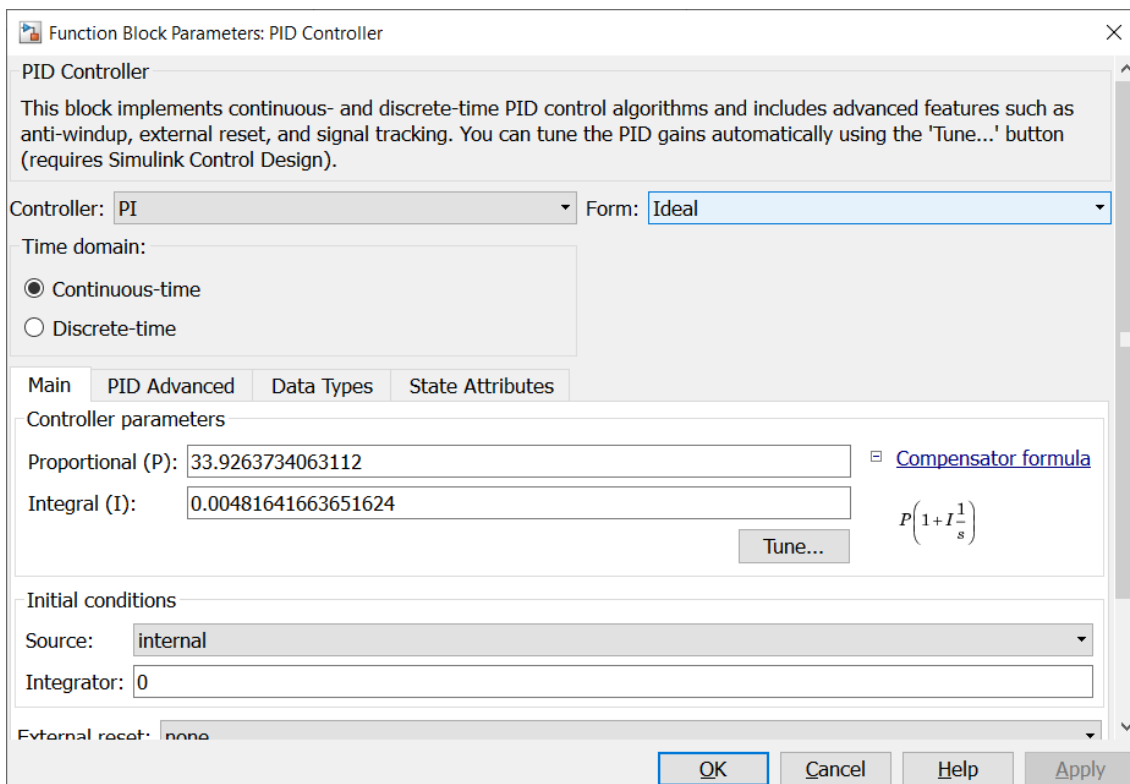


Рисунок 5.18 – Налаштування коефіцієнтів ідеального ПІ регулятора

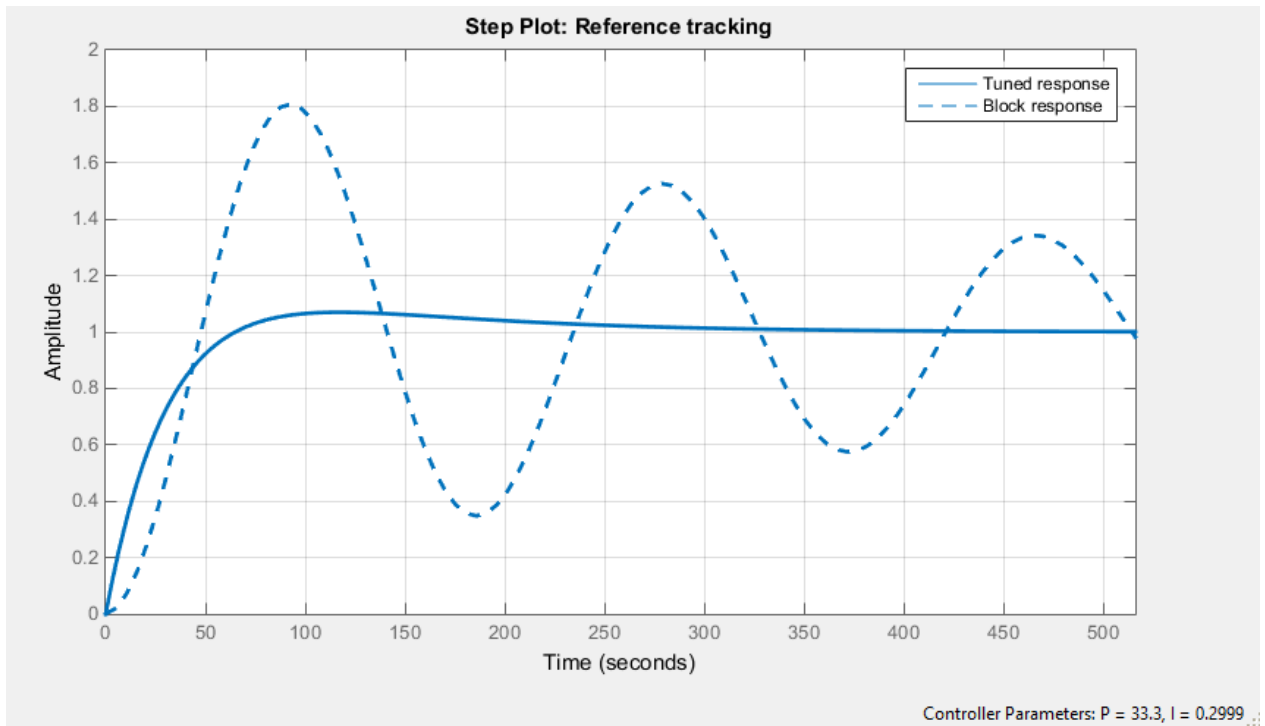


Рисунок 5.19 – Налаштування паралельного ПІ регулятора

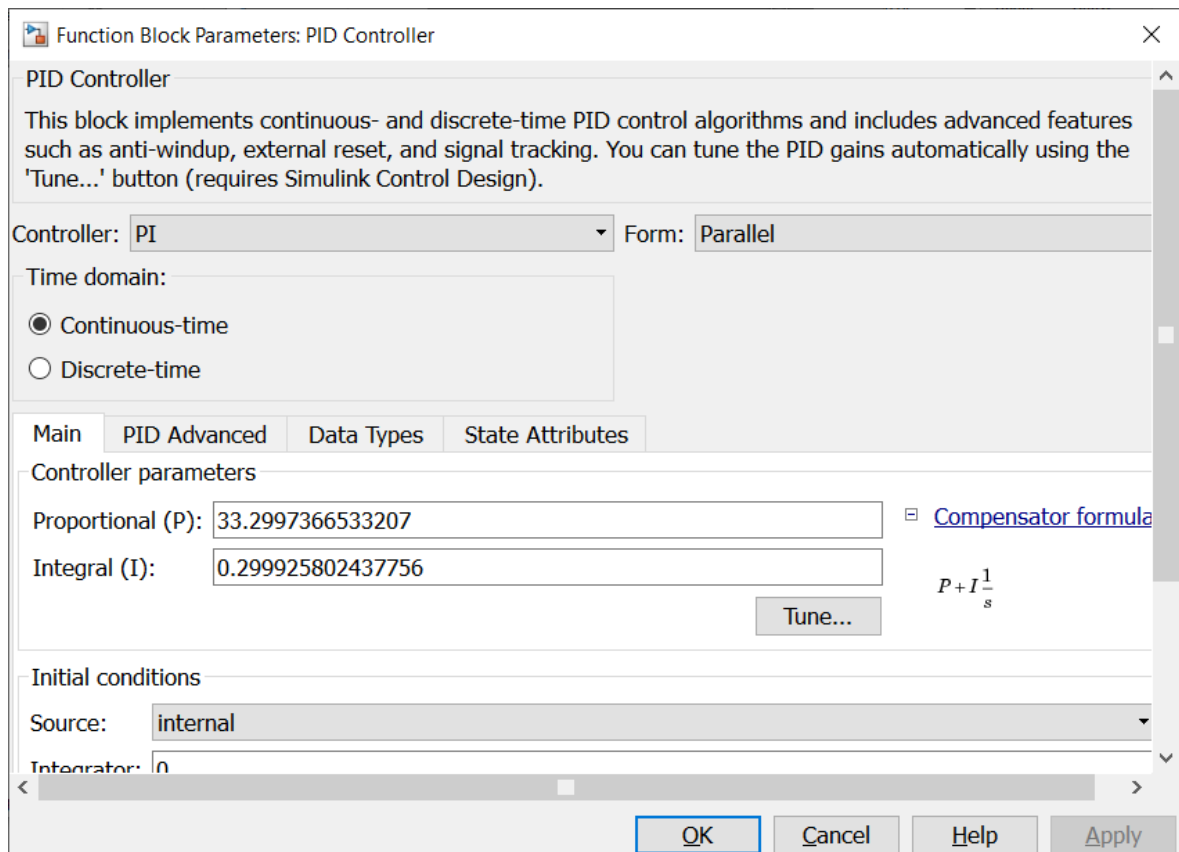


Рисунок 5.20 – Налаштування коефіцієнтів паралельного ПІ регулятора

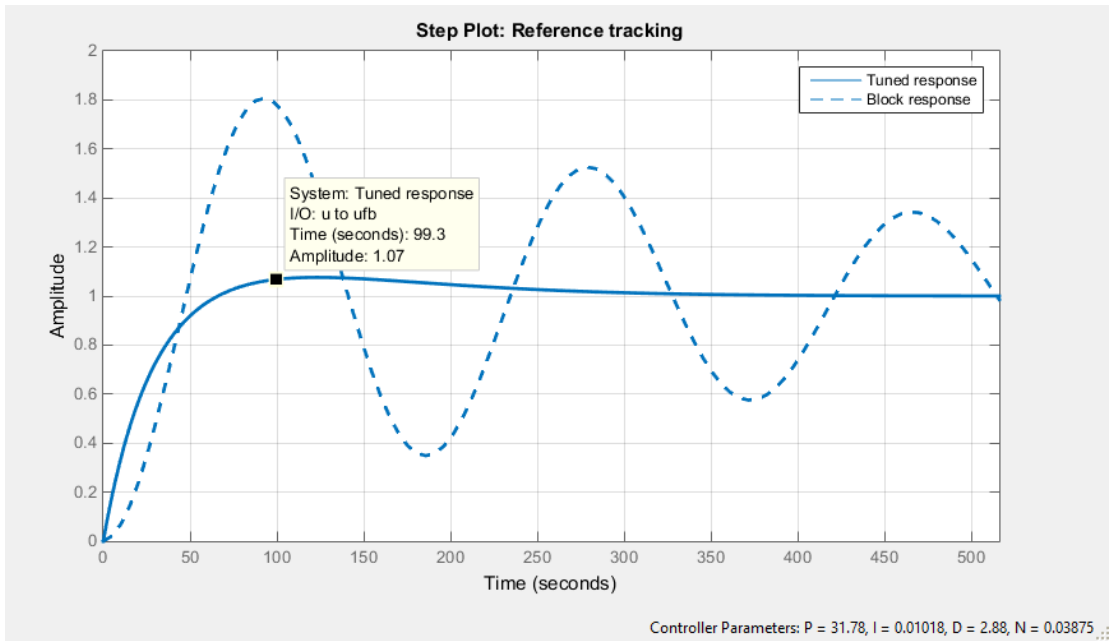


Рисунок 5.21 – Налаштування ідеального ПІД регулятора

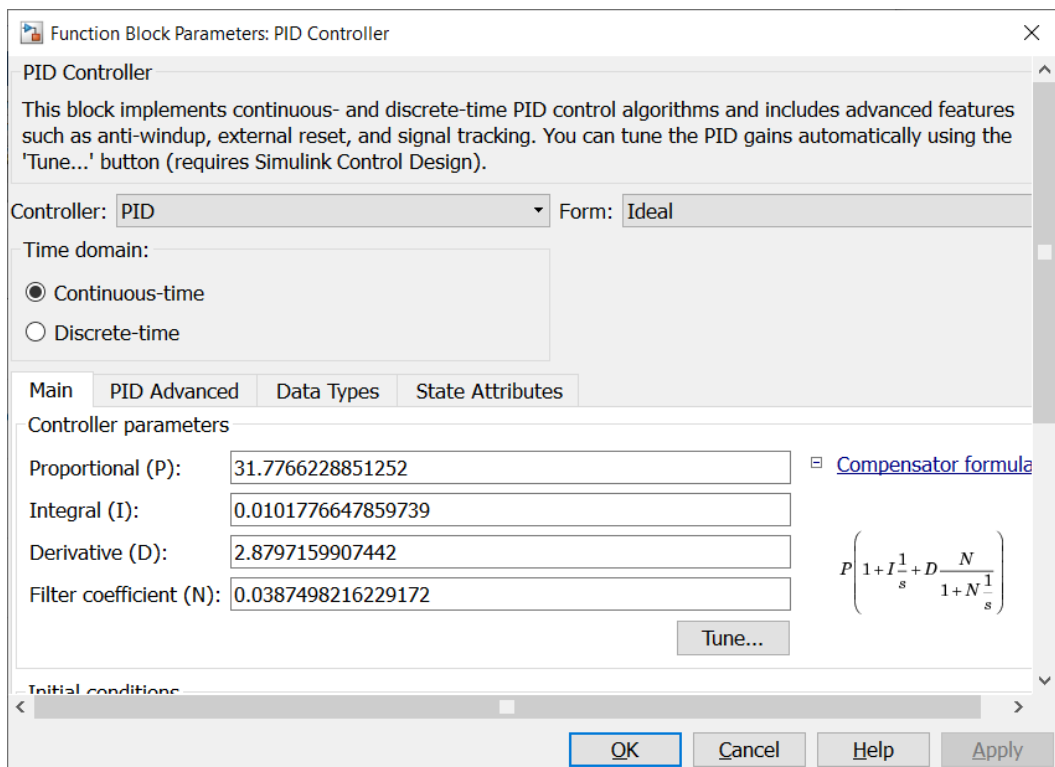


Рисунок 5.22 – Налаштування коефіцієнтів ідеального ПІД регулятора

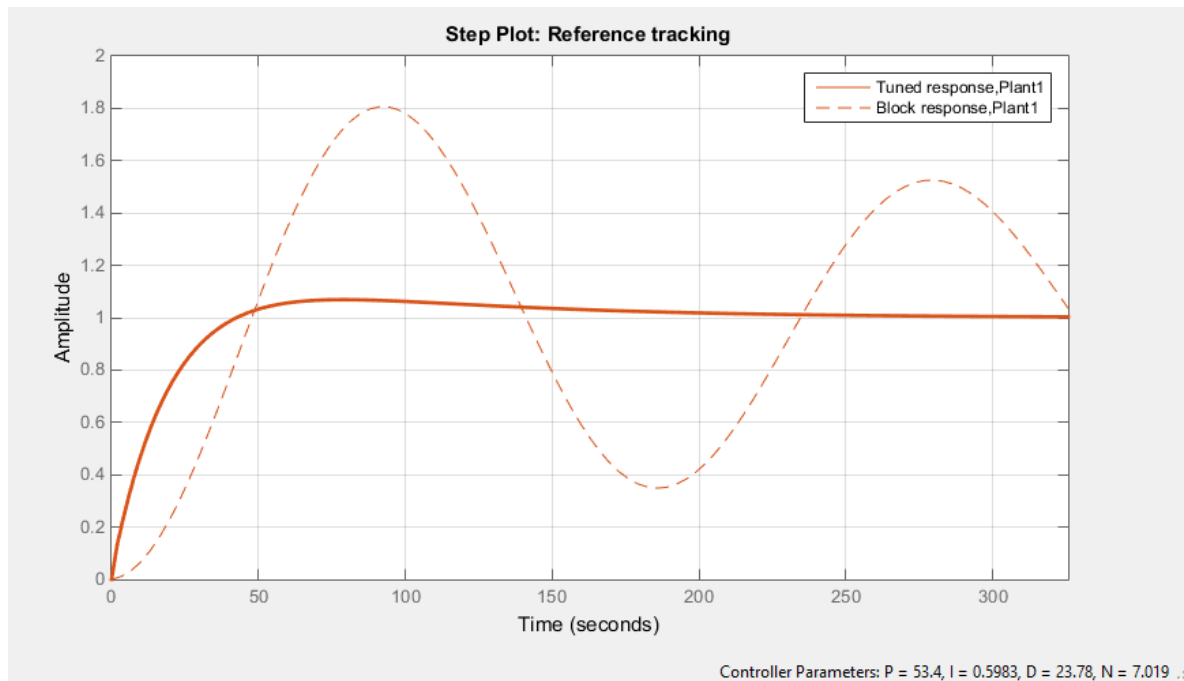


Рисунок 5.23 – Налаштування паралельного ПІД регулятора

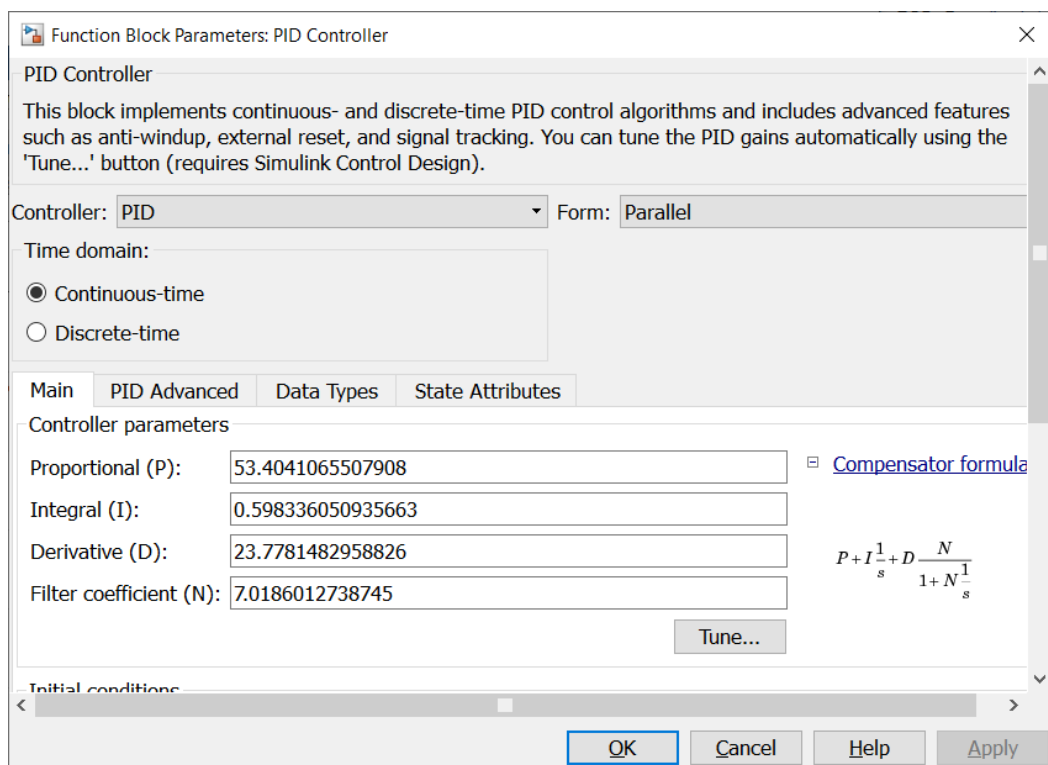


Рисунок 5.24 – Налаштування коефіцієнтів паралельного ПІД регулятора

Можемо зробити висновок, що найкраще із усіх регуляторів підходить саме ПІ регулятор. У нього невелике перерегулювання та швидко налаштовується на задану величину.

ВИСНОВОК

У дипломному проєкті було проаналізовано об'єкт автоматизації, а саме: здійснено опис технологічного обладнання, описано процес виробництва.

Розроблено функціональну схему автоматизації, обрано технологічні параметри, які необхідно контролювати та регулювати.

Також розроблено канали контролю та контури керування. Здійснено підбір технічних засобів автоматизації, які необхідні для розробки автоматизованої системи.

Було проведено структурну та параметричну ідентифікацію об'єкта за допомогою MatLab. Проаналізовано П, ПІ, ПІД регулятори, визначено який найкраще підходить для нашої системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Штанько С.І. Сучасні методи виробництва модифікованих крохмалів // Харчова промисловість. - 2019. - №3. - С. 42-48.
2. Ковбаса В.М., Грищенко А.М. Інноваційні технології у виробництві крохмалю // Наукові праці НУХТ. - 2020. - Т. 26, № 2. - С. 138-145.
3. Бондар М.В., Ковальчук В.П. Оптимізація процесу екстракції крохмалю з картоплі // Вісник аграрної науки. - 2021. - №5. - С. 61-67.
4. Інноваційні технології у виробництві крохмалю: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. - К.: НУХТ, 2021. - 156 с.
5. Патент України № 118734. Спосіб виробництва модифікованого крохмалю / Іванов І.І., Петренко П.П.; заявник і патентовласник Національний університет харчових технологій. - № u201705123; заявл. 25.05.2017; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16.
6. Zhu F. Modifications of starch by electric field based techniques // Trends in Food Science & Technology. - 2018. - Vol. 75. - P. 158-169.
7. Waterschoot J., Gomand S.V., Delcour J.A. Impact of swelling power and granule size on pasting of blends of potato, waxy rice and maize starches // Food Hydrocolloids. - 2019. - Vol. 87. - P. 61-69.
8. Builders P.F., Arhewoh M.I. Pharmaceutical applications of native starch in conventional drug delivery // Starch - Stärke. - 2020. - Vol. 72, No. 3-4. - 1900094.
9. Masina N., Choonara Y.E., Kumar P., du Toit L.C., Pillay V. A review of the chemical modification techniques of starch // Carbohydrate Polymers. - 2021. - Vol. 260. - 117781.
10. Riyad Y., Ismail N.M., Amin M.C.I.M., Yasin F.M. Starch nanoparticles: State-of-the-art manufacturing and applications // International Journal of Biological Macromolecules. - 2022. - Vol. 204. - P. 161-173.
11. Державний стандарт України ДСТУ 4380:2020. Крохмаль картопляний. Технічні умови. - К.: ДП "УкрНДНЦ", 2020. - 22 с.
12. Савчук О.В., Мельник Л.М. Екологічні аспекти виробництва крохмалю з кукурудзи // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. - 2022. - №1. - С. 78-85.
13. Петренко О.О., Сидоренко О.М. Аналіз сучасного стану та перспектив розвитку крохмалепатокової галузі України // Економіка АПК. - 2023. - №2. - С. 45-52.

ДОДАТОК А

Функціональна схема автоматизації

